

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2005 年10 月13 日 (13.10.2005)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2005/096324 A1

- (51) 国際特許分類: H01F 1/24, B22F 1/02, 3/00, H01F 1/33, 27/255, 41/02
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/005887
- (22) 国際出願日: 2005 年3 月29 日 (29.03.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2004-103686 2004 年3 月31 日 (31.03.2004) JP  
特願2004-103687 2004 年3 月31 日 (31.03.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 廣瀬 和弘 (HIROSE, Kazuhiro) [JP/JP]; 〒6648611 兵庫県伊丹市昆陽

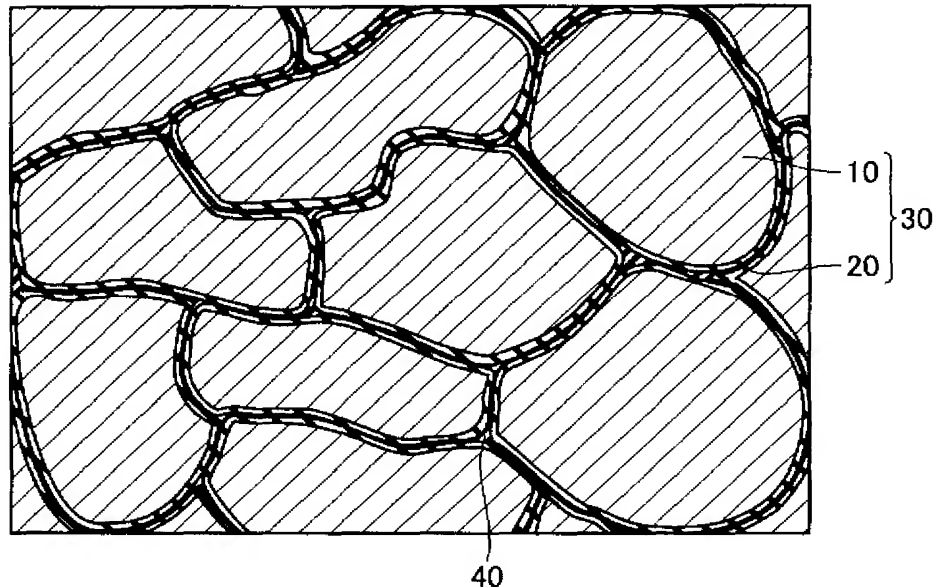
北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo (JP). 豊田 晴久 (TOYODA, Haruhisa) [JP/JP]; 〒6648611 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo (JP). 西岡 隆夫 (NISHIOKA, Takao) [JP/JP]; 〒6648611 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo (JP). 五十嵐 直人 (IGARASHI, Naoto) [JP/JP]; 〒6648611 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo (JP). 前田 徹 (MAEDA, Toru) [JP/JP]; 〒6648611 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo (JP). 島田 良幸 (SHIMADA, Yoshiyuki) [JP/JP]; 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電工焼結合金株式会社内 Hyogo (JP).

- (74) 代理人: 深見 久郎, 外 (FUKAMI, Hisao et al.); 〒5300054 大阪府大阪市北区南森町2丁目1番29号 三井住友銀行南森町ビル 深見特許事務所 Osaka (JP).

[ 続葉有 ]

(54) Title: SOFT MAGNETIC MATERIAL AND DUST CORE

(54) 発明の名称: 軟磁性材料および圧粉磁心



(57) Abstract: Disclosed is a soft magnetic material comprising a plurality of composite magnetic particles (30) respectively having a metal magnetic particle (10) and an insulating coating film (20) covering the surface of the metal magnetic particle (10) and containing at least one of a metal phosphate and an oxide, and a particulate lubricant which is added in an amount of not less than 0.001 mass% and not more than 0.1 mass% relative to the composite magnetic particles (30). By having such a constitution, the soft magnetic material exhibits excellent lubricity during pressing and desired magnetic characteristics can be attained after pressing.

[ 続葉有 ]

WO 2005/096324 A1



(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 補正書

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: 軟磁性材料は、軟磁性材料は、金属磁性粒子 (10) と、金属磁性粒子 (10) の表面を取り囲み、リン酸金属塩および酸化物の少なくとも一方を含む絶縁被膜 (20) とを有する複数の複合磁性粒子 (30) と、複数の複合磁性粒子 (30) に対して、0.001質量%以上0.1質量%以下の割合で添加された微粒子状の潤滑剤とを備える。このような構成により、加圧成形時に優れた潤滑性が得られ、加圧成形後に所望の磁気的特性が得られる。

## 明 細 書

### 軟磁性材料および圧粉磁心

#### 技術分野

- [0001] この発明は、一般的には、軟磁性材料および圧粉磁心に関し、より特定的には、絶縁被膜によって覆われた複数の金属磁性粒子を備える軟磁性材料および圧粉磁心に関する。

#### 背景技術

- [0002] 第1の背景技術として、近年、電磁弁やモーターなどの製品において、広域な周波数で優れた磁気的特性を示す圧粉磁心が電磁鋼板材に変わって利用されつつある。このような圧粉磁心の製造方法に関して、たとえば、特開平8-100203号公報には、粉末冶金を利用して金属複合部材(metal composite part)を形成するための未焼結圧粉体の製造方法が開示されている(特許文献1)。
- [0003] 特許文献1に開示された製造方法によれば、液体小液または固体粒子のエアロゾルの形態で、滑剤をダイの壁表面に静電的に塗布する。液体小液または固体粒子は、好ましくは、 $100\mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $50\mu\text{m}$ 以下、最も好ましくは $15\mu\text{m}$ 以下の粒径を有する。次に、金属粉末組成物をダイに充填し、これを圧縮して未焼結圧粉体を形成する。このように作製された圧粉体が、0.1重量%から0.4重量%、好ましくは、0.2重量%から0.3重量%の割合で内部滑剤を含む場合、特に高い密度を有する未焼結体を得られる。
- [0004] また、特開平9-104902号公報には、成形体の物性や成形時の作業性を向上させることを目的とした粉末成形方法が開示されている(特許文献2)。特許文献2に開示された粉末成形方法では、粉末を金型に充填する前に、粉末または金型の内壁に、脂肪酸または金属石鹸からなる固体潤滑剤を噴霧する。固体潤滑剤の噴霧量は、好ましくは、0.001重量%から2重量%とされており、たとえば、0.1重量%の割合のステアリン酸が、金型内壁に向けて噴霧される。
- [0005] また第2の背景技術として、従来、モーターコアやトランスコアなどの電気電子部品において高密度化および小型化が図られており、より精密な制御を小電力で行なえ

ることが求められている。このため、これらの電気電子部品の作製に使用される圧粉磁心であって、特に中高周波領域において優れた磁気的特性を有する圧粉磁心の開発が進められている。このような圧粉磁心を作製する場合、たとえば、表面にリン酸塩被膜処理を施した鉄粉に、有機系潤滑剤を添加し、得られた混合粉末を加圧成形して成形体を形成する。その後、加圧成形時の歪み取りのため、得られた成形体に熱処理を実施する。

- [0006] また、特表平6－507928号公報には、磁性部品に用いられる磁性粉末組成物およびその作成方法が開示されている(特許文献3)。特許文献3に開示された磁性粉末組成物は、熱可塑性樹脂材料によって被膜された鉄粒子と、その被膜された鉄粒子の重量に対して好ましくは0.05%から0.4%の割合で混合された窒化硼素粉末とを含んでいる。

特許文献1:特開平8－100203号公報

特許文献2:特開平9－104902号公報

特許文献3:特表平6－507928号公報

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

- [0007] 上記の第1の背景技術において、特許文献1および2では、加圧成形時の摩擦を低減させるべく、所定の滑剤や固定潤滑剤を用いている。しかし、用いるこれらの潤滑剤の量が多いと、加圧成形によって得られた圧粉磁心に占める非磁性層の割合が大きくなり、圧粉磁心の磁気的特性が劣化する。一方、潤滑剤の量が少ないと、加圧成形時に十分な潤滑性が得られず、金属粉末同士が強く擦れ合う。この場合、金属粉末の内部に大きな歪みが導入されるため、得られる圧粉磁心の磁気的特性が劣化するおそれが生じる。また、加圧成形時に十分な潤滑性が得られないと、金属粉末を金型(ダイ)に均一に充填できなかつたり、密に充填できなかつたりする。これによって、圧粉磁心の密度が不均一になったり、密度が低下するといった問題が生じる。

- [0008] また、上記の第2の背景技術において、リン酸塩被膜処理された鉄粉に、多量の有機系潤滑剤を添加した場合、加圧成形時の摩擦によってリン酸塩被膜が破壊されることを防止できる。しかしこの場合、圧粉磁心に占める有機系潤滑剤の割合が大きす

ぎるために、得られた圧粉磁心のヒステリシス損が増大するという問題が生じる。一方、微量の有機系潤滑剤を添加すれば、ヒステリシス損の増大を抑えることはできるものの、加圧成形時にリン酸塩被膜が破壊され、圧粉磁心の渦電流損が増大する。

[0009] また、有機系潤滑剤は比較的、熱分解温度が低いため、成形体を高温で熱処理すると、有機系潤滑剤が熱分解し、鉄粉中へと拡散するおそれが生じる。この場合、得られる圧粉磁心の磁気的特性が劣化することとなる。さらに、有機系潤滑剤を構成する炭素(C)は、圧粉磁心内に残渣として残る。炭素は、電気抵抗率が非常に小さいため、鉄粉間を通電させ、圧粉磁心の粒子間渦電流損を増大させる原因となる。

[0010] また、作製された圧粉磁心が高温中で使用される場合、圧粉磁心に含まれる有機系潤滑剤が軟化あるいは溶解してしまうおそれがある。この場合、圧粉磁心の強度が著しく低下する。

[0011] また、特許文献3に開示された磁性粉末組成物は、有機系潤滑剤にかえて窒化硼素粉末を含む。しかし、特許文献3では、含まれる窒化硼素粉末の割合が大きすぎるために、全体に占める磁性体の割合が小さくなる。このため、磁性粉末組成物の磁束密度が小さくなったり、ヒステリシス損の増大を通じて鉄損が大きくなるという問題が生じる。

[0012] そこでこの発明の目的は、上記の課題を解決することであり、加圧成形時に優れた潤滑性を示すとともに、加圧成形後に所望の磁気的特性が得られる軟磁性材料およびその軟磁性材料から作製された圧粉磁心を提供することである。また、この発明の目的は、所望の磁気的特性を有する圧粉磁心、軟磁性材料および圧粉磁心の製造方法を提供することである。

#### 課題を解決するための手段

[0013] この発明の1つの局面に従った軟磁性材料は、圧粉磁心の作製に用いられる軟磁性材料である。軟磁性材料は、金属磁性粒子と、金属磁性粒子の表面を取り囲み、リン酸金属塩および酸化物の少なくとも一方を含む絶縁被膜とを有する複数の複合磁性粒子と、複数の複合磁性粒子に対して、0.001質量%以上0.1質量%以下の割合で添加された微粒子状の潤滑剤とを備える。

[0014] このように構成された軟磁性材料によれば、微粒子状の潤滑剤の割合を0.001質

量%以上にすることで、圧粉磁心を作製する際の加圧成形時に、複合磁性粒子間で十分な潤滑性を得ることができる。また、微粒子状の潤滑剤の割合を0.1質量%以下にすることで、金属磁性粒子間の距離が大きくなりすぎることがない。これにより、金属磁性粒子間に反磁界が発生する(金属磁性粒子に磁極が生じてエネルギーの損失が発生する)ことを防止し、反磁界の発生に起因したヒステリシス損の増大を抑制できる。また、圧粉磁心に占める非磁性層の体積比率を抑えることで、飽和磁束密度が低下することを防止できる。

- [0015] 加えて、リン酸金属塩および酸化物の少なくとも一方を含む絶縁被膜は、優れた潤滑性を有する。このため、加圧成形時に絶縁被膜同士が擦れ合ったとしても、大きな摩擦が生じることがない。
- [0016] したがって本発明によれば、このような微粒子状の潤滑剤による効果と絶縁被膜による効果とが相伴って、加圧成形時の潤滑性を大幅に向上させることができる。これにより、加圧成形時に絶縁被膜が破壊されることを防止するとともに、金属磁性粒子の内部に大きな歪みが導入されることを防止できる。結果、渦電流損およびヒステリシス損の小さい所望の磁気的特性を有する圧粉磁心を得ることができる。
- [0017] また好ましくは、微粒子状の潤滑剤の平均粒径は、 $2.0\mu\text{m}$ 以下である。このように構成された軟磁性材料によれば、圧粉磁心を作製する際の加圧成形時に、微粒子状の潤滑剤をより高い確率で複合磁性粒子間に介在させることができる。これにより、0.1質量%以下という微量であっても、微粒子状の潤滑剤を複合磁性粒子間の潤滑を得るための添加物として確実に機能させることができる。
- [0018] また好ましくは、微粒子状の潤滑剤は、金属石鹸および六方晶系の結晶構造を有する無機潤滑剤の少なくとも一方を含む。無機潤滑剤とは、炭素(C)を含まない物質や炭素の同素体を主成分とする潤滑剤のことであり、炭素の同素体であるグラファイトを含む。
- [0019] このように構成された軟磁性材料によれば、微粒子状の潤滑剤が金属石鹸を含む場合、金属石鹸は、優れた潤滑性を示すため、加圧成形時における複合磁性粒子間の摩擦を効果的に低減させることができる。また、微粒子状の潤滑剤が六方晶系の結晶構造を有する無機潤滑剤を含む場合、無機潤滑剤は、層状構造によって形

成されている。無機潤滑剤は、その層状構造の劈開（へきかい）により、0.1質量%以下という小さい割合にもかかわらず優れた潤滑性を示す。より詳細には、圧粉磁心を作製する際の加圧成形時に、無機潤滑剤が複合磁性粒子間に介在すると、複合磁性粒子に接触する無機潤滑剤の最外表面の結晶層が剥がれ落ち、粒子間の摩擦を大幅に低減させる。これにより、加圧成形時に複合磁性粒子同士が強く擦れ合うことを防止し、粒子内に大きな歪みが導入されることを抑制する。また、無機潤滑剤は、有機系潤滑剤と比較して、一般的に高い熱分解温度を有し、耐熱性に優れている。このため、圧粉磁心を作製する際、高温での熱処理を実施したとしても、この熱処理によって無機潤滑剤が劣化したり軟化したりすることを防止できる。

[0020] また好ましくは、複数の複合磁性粒子に対する微粒子状の潤滑剤の割合が、0.001質量%以上0.025質量%以下である。このように構成された軟磁性材料によれば、金属磁性粒子間に反磁界が発生することをさらに抑制するとともに、圧粉磁心に占める非磁性層の割合をより低く抑えることができる。

[0021] また好ましくは、軟磁性材料は、複数の複合磁性粒子に対して0.001質量%以上0.1質量%以下の割合で、複数の複合磁性粒子の各々の間に介在する熱可塑性樹脂をさらに備える。このように構成された軟磁性材料によれば、微粒子状の潤滑剤に加えて熱可塑性樹脂を添加することにより、隣り合う複合磁性粒子を互いに強固に接合することができる。この熱可塑性樹脂による接着効果によって、圧粉磁心の強度を向上させることができる。また、その接着効果によって、圧粉磁心を作製するため成形体を加工する際、複合磁性粒子が加工応力により加工面から剥がれ落ちるということがない。このため、加工面の表面粗さの小さい、優れた切削加工性を得ることができる。また加えて、熱可塑性樹脂を添加することによって、複合磁性粒子間の絶縁性を向上させることができる。これにより、粒子間渦電流の発生を抑え、圧粉磁心の鉄損をさらに小さくすることができる。

[0022] この際、熱可塑性樹脂の割合を0.001質量%以上にすることによって、上述の効果を十分に得ることができる。また、熱可塑性樹脂の割合を0.1質量%以下にすることによって、圧粉磁心に占める非磁性層の割合が大きくなりすぎることがない。これにより、圧粉磁心の磁束密度が低下することを防止できる。

- [0023] この発明の1つの局面に従った圧粉磁心は、上述のいずれかに記載の軟磁性材料を用いて作製された圧粉磁心である。このように構成された圧粉磁心によれば、渦電流損およびヒステリシス損の双方の低減を通じて、鉄損の小さい磁気的特性を実現することができる。なお、圧粉磁心とする場合、強度向上、耐熱性向上のために、他の有機物を添加することもある。このような有機物が存在する下であっても、本発明による効果は得られる。
- [0024] また好ましくは、圧粉磁心は、充填率が95%以上である。このように構成された圧粉磁心によれば、上述のいずれかに記載の軟磁性材料の使用により、潤滑剤の添加量の抑制と優れた潤滑性との両方を達成できるため、充填率のより高い圧粉磁心を作製することができる。これにより、圧粉磁心の強度を向上させるとともに、磁束密度の高い磁気的特性を得ることができる。
- [0025] この発明の別の局面に従った軟磁性材料は、圧粉磁心の作製に用いられる軟磁性材料である。軟磁性材料は、金属磁性粒子と、金属磁性粒子の表面を取り囲み、リン酸金属塩および酸化物の少なくとも一方を含む絶縁被膜とを有する複数の複合磁性粒子と、複数の複合磁性粒子に対して、0.001質量%以上0.1質量%以下の割合で添加され、金属石鹸を含む潤滑性粉末とを備える。潤滑性粉末の平均粒径は、 $2.0\mu\text{m}$ 以下である。
- [0026] このように構成された軟磁性材料によれば、金属石鹸を含む潤滑性粉末の平均粒径を $2.0\mu\text{m}$ 以下にすることによって、圧粉磁心を作製する際の加圧成形時に、潤滑性粉末をより高い確率で複合磁性粒子間に介在させることができる。これにより、0.1質量%以下という微少量であっても、潤滑性粉末を複合磁性粒子間の潤滑剤として確実に機能させることができる。この際、潤滑性粉末の割合を0.001質量%以上にするすることで、上述の効果を十分に得ることができる。また、潤滑性粉末の割合を0.1質量%以下にすることで、金属磁性粒子間の距離が大きくなりすぎることがない。これにより、金属磁性粒子間に反磁界が発生する(金属磁性粒子に磁極が生じてエネルギーの損失が発生する)ことを防止し、反磁界の発生に起因したヒステリシス損の増大を抑制できる。また、圧粉磁心に占める非磁性層の体積比率を抑えることで、飽和磁束密度が低下することを防止できる。

- [0027] 加えて、リン酸金属塩および酸化物の少なくとも一方を含む絶縁被膜は、優れた潤滑性を有する。このため、加圧成形時に絶縁被膜同士が擦れ合ったとしても、大きな摩擦が生じることがない。
- [0028] したがって本発明によれば、これら潤滑性粉末による効果と絶縁被膜による効果とが相伴って、加圧成形時の潤滑性を大幅に向上させることができる。これにより、加圧成形時に絶縁被膜が破壊されることを防止するとともに、金属磁性粒子の内部に大きな歪みが導入されることを防止できる。結果、渦電流損およびヒステリシス損の小さい所望の磁気的特性を有する圧粉磁心を得ることができる。
- [0029] また好ましくは、潤滑性粉末の平均粒径は、 $1.0\ \mu\text{m}$ 以下である。このように構成された軟磁性材料によれば、加圧成形時に潤滑性粉末をさらに高い確率で複合磁性粒子間に介在させることができる。これにより、加圧成形時の潤滑性をより効果的に向上させることができる。
- [0030] また好ましくは、複数の複合磁性粒子に対する潤滑性粉末の割合が、 $0.001$ 質量%以上 $0.025$ 質量%以下である。このように構成された軟磁性材料によれば、金属磁性粒子間に反磁界が発生することをさらに抑制するとともに、圧粉磁心に占める非磁性層の割合をより低く抑えることができる。
- [0031] また好ましくは、金属石鹸は、ステアリン酸亜鉛、ステアリン酸カルシウムおよびステアリン酸アルミニウムからなる群より選ばれた少なくとも1種の材料である。このように構成された軟磁性材料によれば、これらの材料を含む潤滑性粉末は、優れた潤滑性を示すため、加圧成形時における複合磁性粒子間の摩擦を効果的に低減させることができる。
- [0032] この発明の別の局面に従った圧粉磁心は、上述のいずれかに記載の軟磁性材料を用いて作製される。このように構成された圧粉磁心によれば、渦電流損およびヒステリシス損の双方の低減を通じて、鉄損の小さい磁気的特性を実現することができる。なお、圧粉磁心とする場合、強度向上、耐熱性向上のために、他の有機物を添加することもある。このような有機物が存在する下であっても、本発明による効果は得られる。
- [0033] この発明のさらに別の局面に従った圧粉磁心は、互いに接合された複数の複合磁

性粒子と、複数の複合磁性粒子に対して0を超え0.05質量%未満の割合で、複数の複合磁性粒子の各々の間に介在し、六方晶系の結晶構造を有する無機潤滑剤とを備える。無機潤滑剤とは、炭素(C)を含まない物質や炭素の同素体を主成分とする潤滑剤のことであり、炭素の同素体であるグラファイトを含む。

[0034] このように構成された圧粉磁心によれば、六方晶系の結晶構造を有する無機潤滑剤は、層状構造によって形成されている。無機潤滑剤は、その層状構造の劈開(へきかい)により、0.05質量%未満という小さい割合にもかかわらず優れた潤滑性を示す。より詳細には、圧粉磁心を作製する際の加圧成形時に、無機潤滑剤が複合磁性粒子間に介在すると、複合磁性粒子に接触する無機潤滑剤の最外表面の結晶層が剥がれ落ち、粒子間の摩擦を大幅に低減させる。これにより、加圧成形時に複合磁性粒子同士が強く擦れ合うことを防止し、粒子内に大きな歪みが導入されることを抑制する。また、無機潤滑剤の割合は、0.05質量%未満と小さいため、圧粉磁心に占める非磁性層の割合が大きくなりすぎることがない。このため、無機潤滑剤を添加しない場合と比較して、同じ加圧圧力で圧粉磁心を作製した場合に、高い密度が実現でき、その結果、高い磁束密度を有する圧粉磁心や高い強度を有する圧粉磁心を得ることができる。

[0035] また無機潤滑剤は、有機系潤滑剤と比較して、一般的に高い熱分解温度を有し、耐熱性に優れている。このため、圧粉磁心を作製する際、高温での熱処理を実施したとしても、この熱処理によって無機潤滑剤が劣化したり軟化したりすることを防止できる。以上説明した理由から、本発明によれば、渦電流損およびヒステリシス損が十分に低減された、高い強度を有する圧粉磁心を得ることができる。

[0036] また好ましくは、無機潤滑剤は、窒化ホウ素、二硫化モリブデンおよび二硫化タングステンからなる群より選ばれた少なくとも一種を含む。このように構成された圧粉磁心によれば、これらの材料を含む無機潤滑剤は、優れた潤滑性や耐熱性に加えて、優れた絶縁性を有する。より詳細には、圧粉磁心を作製する際の加圧成形時に、無機潤滑剤の最外表面から剥がれ落ちた鱗片状の結晶層は、複合磁性粒子の表面に張り付いた状態となる。これにより、圧粉磁心となった場合の複合磁性粒子間の絶縁性を向上させることができる。また、これらの材料を含む無機潤滑剤は、炭素を含まない

。このため、圧粉磁心内に存在する炭素に起因して、複合磁性粒子間の電気抵抗率が著しく小さくなるということがない。これらの理由から、圧粉磁心の渦電流損を大幅に低減させることができる。

[0037] また好ましくは、複数の複合磁性粒子の各々は、金属磁性粒子と、金属磁性粒子の表面を取り囲む絶縁被膜とを含む。このように構成された圧粉磁心によれば、無機潤滑剤が有する潤滑性によって、圧粉磁心を作製する際の加圧成形時に、絶縁被膜が破壊されることを防止できる。これにより、渦電流損の小さい圧粉磁心を得ることができる。

[0038] また好ましくは、無機潤滑剤の割合が、複数の複合磁性粒子に対して0.0005質量%以上0.01質量%以下である。このように構成された圧粉磁心によれば、無機潤滑剤はこの範囲で特に優れた潤滑性を示すため、無機潤滑剤を設けたことによる上述の効果を顕著に得ることができる。

[0039] また好ましくは、圧粉磁心は、複数の複合磁性粒子に対して0.001質量%以上0.1質量%以下の割合で、複数の複合磁性粒子の各々の間に介在する熱可塑性樹脂をさらに備える。このように構成された圧粉磁心によれば、無機潤滑剤に加えて熱可塑性樹脂を添加することにより、隣り合う複合磁性粒子を互いに強固に接合することができる。この熱可塑性樹脂による接着効果によって、圧粉磁心の強度を向上させることができる。また、その接着効果によって、圧粉磁心を作製するため成形体を加工する際、複合磁性粒子が加工応力により加工面から剥がれ落ちるということがない。このため、加工面の表面粗さの小さい、優れた切削加工性を得ることができる。また加えて、熱可塑性樹脂を添加することによって、複合磁性粒子間の絶縁性を向上させることができる。これにより、粒子間渦電流の発生を抑え、圧粉磁心の鉄損をさらに小さくすることができる。

[0040] この際、熱可塑性樹脂の割合を0.001質量%以上にすることによって、上述の効果を十分に得ることができる。また、熱可塑性樹脂の割合を0.1質量%以下にすることによって、圧粉磁心に占める非磁性層の割合が大きくなりすぎるということがない。これにより、圧粉磁心の磁束密度が低下することを防止できる。

[0041] また好ましくは、圧粉磁心は、充填率が95%以上である。このように構成された圧

粉磁心によれば、無機潤滑剤の使用により、潤滑剤の添加量の抑制と優れた潤滑性との両方を達成できるため、充填率のより高い圧粉磁心を作製することができる。これにより、圧粉磁心の強度を向上させるとともに、磁束密度の高い磁気的特性を得ることができる。

[0042] この発明のさらに別の局面に従った軟磁性材料は、上述のいずれかに記載の圧粉磁心の作製に用いられる軟磁性材料である。軟磁性材料は、複数の複合磁性粒子と無機潤滑剤とを含む混合体を備える。このように構成された軟磁性材料によれば、磁気的特性に優れた圧粉磁心を作製することができる。

[0043] この発明に従った圧粉磁心の製造方法は、上述のいずれかに記載の圧粉磁心の製造方法である。圧粉磁心の製造方法は、複数の複合磁性粒子と無機潤滑剤とを含む混合体を加圧成形することによって、成形体を形成する工程と、成形体を400℃以上の温度で熱処理する工程とを備える。

[0044] このように構成された圧粉磁心の製造方法によれば、無機潤滑剤は耐熱性に優れるため、400℃以上という高温で熱処理しても、無機潤滑剤の熱分解により複合磁性粒子の磁気的特性が劣化するということがない。また、高温で実施する熱処理により、複合磁性粒子の内部に存在する歪みを十分に低減させることができる。これによって、ヒステリシス損の小さい圧粉磁心を作製することができる。

### 発明の効果

[0045] 以上説明したように、この発明に従えば、加圧成形時に優れた潤滑性を示すとともに、加圧成形後に所望の磁気的特性が得られる軟磁性材料およびその軟磁性材料から作製された圧粉磁心を提供することができる。また、この発明に従えば、所望の磁気的特性を有する圧粉磁心、軟磁性材料および圧粉磁心の製造方法を提供することができる。

### 図面の簡単な説明

[0046] [図1]この発明の実施の形態1における軟磁性材料を用いて作製された圧粉磁心の断面を示す模式図である。

[図2]この発明の実施例1において、ステアリン酸亜鉛の添加量と見掛け密度との関係を示すグラフである。

[図3]この発明の実施例1において、ステアリン酸亜鉛の添加量と見掛け密度との関係を示す別のグラフである。

[図4]この発明の実施例1において、ステアリン酸亜鉛の添加量と流動度との関係を示すグラフである。

[図5]この発明の実施例1において、ステアリン酸亜鉛の添加量と流動度との関係を示す別のグラフである。

[図6]この発明の実施例2において、ステアリン酸亜鉛の平均粒径および添加量と、見掛け密度との関係を示すグラフである。

[図7]この発明の実施例2において、ステアリン酸亜鉛の平均粒径および添加量と、見掛け密度との関係を示す別のグラフである。

[図8]この発明の実施例2において、ステアリン酸亜鉛の平均粒径および添加量と、流動度との関係を示すグラフである。

[図9]この発明の実施例2において、ステアリン酸亜鉛の平均粒径および添加量と、流動度との関係を示す別のグラフである。

[図10]この発明の実施の形態2における圧粉磁心の断面を示す模式図である。

[図11]この発明の実施例4において、無機潤滑剤の添加量と見掛け密度との関係を示すグラフである。

[図12]この発明の実施例4において、無機潤滑剤の添加量と流動度との関係を示すグラフである。

[図13]この発明の実施例5において、無機潤滑剤の添加量と成形体の鉄損との関係を示すグラフである。

[図14]この発明の実施例5において、無機潤滑剤の添加量と成形体の鉄損との関係を示す別のグラフである。

[図15]この発明の実施例6において、熱可塑性樹脂の添加量と成形体の鉄損との関係を示すグラフである。

[図16]この発明の実施例7において、成形体の充填率と鉄損との関係を示すグラフである。

[図17]この発明の実施例8において、熱処理温度と成形体の鉄損との関係を示すグ

ラフである。

## 符号の説明

[0047] 10 金属磁性粒子、20 絶縁被膜、30 複合磁性粒子、40 有機物、110 金属磁性粒子、120 絶縁被膜、130 複合磁性粒子、140 無機潤滑剤。

## 発明を実施するための最良の形態

[0048] この発明の実施の形態について、図面を参照して説明する。

[0049] (実施の形態1)

図1を参照して、圧粉磁心は、金属磁性粒子10と、金属磁性粒子10の表面を取り囲む絶縁被膜20とから構成された複数の複合磁性粒子30を備える。複数の複合磁性粒子30の間には、有機物40が介在している。複数の複合磁性粒子30の各々は、有機物40によって接合されていたり、複合磁性粒子30が有する凹凸の噛み合わせによって接合されている。

[0050] 図1中の圧粉磁心の作製に用いられる本実施の形態における軟磁性材料は、金属磁性粒子10および絶縁被膜20からなる複数の複合磁性粒子30と、複合磁性粒子30に所定の割合で添加され、図1中の圧粉磁心では、加圧成形されることによって有機物40として存在する潤滑性粉末(微粒子状の潤滑剤)とを備える。

[0051] 金属磁性粒子10は、たとえば、鉄(Fe)、鉄(Fe)－シリコン(Si)系合金、鉄(Fe)－窒素(N)系合金、鉄(Fe)－ニッケル(Ni)系合金、鉄(Fe)－炭素(C)系合金、鉄(Fe)－ホウ素(B)系合金、鉄(Fe)－コバルト(Co)系合金、鉄(Fe)－リン(P)系合金、鉄(Fe)－ニッケル(Ni)－コバルト(Co)系合金および鉄(Fe)－アルミニウム(Al)－シリコン(Si)系合金などから形成されている。金属磁性粒子10は、金属単体でも合金でもよい。

[0052] 絶縁被膜20は、リン酸金属塩および酸化物の少なくともいずれか一方を含む。リン酸金属塩としては、鉄のリン酸塩であるリン酸鉄のほか、たとえば、リン酸マンガン、リン酸亜鉛、リン酸カルシウムおよびリン酸アルミニウムなどを用いることができる。また、リン酸金属塩は、少量のアルミニウムがドーパされたリン酸鉄などのリン酸の複合金属塩であっても良い。酸化物としては、たとえば、酸化シリコン、酸化チタン、酸化アルミニウムおよび酸化ジルコニウムなどを用いることができる。また、これらの金属の合

金を用いても良い。絶縁被膜20は、図中に示すように1層に形成されていても良いし、多層に形成されていても良い。

- [0053] 潤滑性粉末は、ステアリン酸亜鉛、ステアリン酸リチウム、ステアリン酸カルシウム、ステアリン酸アルミニウム、パルミチン酸リチウム、パルミチン酸カルシウム、オレイン酸リチウムまたはオレイン酸カルシウムなどの金属石鹸や、六方晶系の結晶構造を有する無機潤滑剤、たとえば窒化ホウ素(BN)、二硫化モリブデン( $\text{MoS}_2$ )、二硫化タングステン( $\text{WS}_2$ )またはグラファイトなどから形成されている。
- [0054] 潤滑性粉末は、複数の複合磁性粒子30に対して、0.001質量%以上0.1質量%以下の割合で含まれており、その平均粒径は、 $2.0\mu\text{m}$ 以下である。さらに好ましくは、潤滑性粉末は、複数の複合磁性粒子30に対して、0.001質量%以上0.025質量%以下の割合で含まれている。さらに好ましくは、潤滑性粉末の平均粒径は、 $1.0\mu\text{m}$ 以下である。なお、ここで言う平均粒径とは、レーザー散乱回折法によって測定した粒径のヒストグラム中、粒径の小さいほうからの質量の和が総質量の50%に達する粒子の粒径、つまり50%粒径Dをいう。
- [0055] この発明の実施の形態1における軟磁性材料は、金属磁性粒子10と、金属磁性粒子10の表面を取り囲み、リン酸金属塩および酸化物の少なくとも一方を含む絶縁被膜20とを有する複数の複合磁性粒子30と、複数の複合磁性粒子30に対して、0.001質量%以上0.1質量%以下の割合で添加され、金属石鹸を含む潤滑性粉末とを備える。潤滑性粉末の平均粒径は、 $2.0\mu\text{m}$ 以下である。
- [0056] また、この発明の実施の形態1における軟磁性材料は、金属磁性粒子10と、金属磁性粒子10の表面を取り囲み、リン酸金属塩および酸化物の少なくとも一方を含む絶縁被膜20とを有する複数の複合磁性粒子30と、複数の複合磁性粒子30に対して、0.001質量%以上0.1質量%以下の割合で添加された微粒子状の潤滑剤とを備える。
- [0057] 続いて、本実施の形態における軟磁性材料を作製し、さらにその軟磁性材料から図1中に示す圧粉磁心を作製する方法について説明を行なう。
- [0058] まず、金属磁性粒子10に所定の被膜処理を行ない、金属磁性粒子10が絶縁被膜20によって覆われた複合磁性粒子30を作製する。また別に、適当なメッシュ粗さの

篩を用いた分級により、平均粒径が $2.0\mu\text{m}$ 以下に調整された潤滑性粉末を準備する。この際、平均粒径が $0.8\mu\text{m}$ から $1.0\mu\text{m}$ の市販されている金属石鹸(たとえば、日本油脂株式会社製の商品名「MZ-2」)を、潤滑性粉末として用いても良い。次に、複合磁性粒子30に所定の割合で潤滑性粉末を添加し、V型混合機を用いてこれらを混合することによって、本実施の形態における軟磁性材料を完成させる。なお、混合方法に特に制限はない。

[0059] 次に、得られた軟磁性材料を金型に入れ、たとえば、 $700\text{MPa}$ から $1500\text{MPa}$ までの圧力で加圧成形する。これにより、軟磁性材料が圧縮されて成形体が得られる。加圧成形する雰囲気は、不活性ガス雰囲気または減圧雰囲気とすることが好ましい。この場合、大気中の酸素によって複合磁性粒子30が酸化されるのを抑制できる。

[0060] 従来、 $5\mu\text{m}$ から $10\mu\text{m}$ ほどの平均粒径を有する粉末が潤滑剤として使用されていたのに対して、本実施の形態では、潤滑剤粉末の平均粒径が、 $2.0\mu\text{m}$ 以下と比較的小さい値に抑えられている。このため、添加量(複数の複合磁性粒子30に対する割合)が同じであっても、軟磁性材料の単位体積当たり存在する潤滑剤粉末の数を多くすることができる。これにより、潤滑剤粉末をより高い確率で複合磁性粒子30間に介在させることができる。また、リン酸金属塩や酸化物を含む絶縁被膜20は、それ自身、優れた潤滑性を示す。このような絶縁被膜20と、複合磁性粒子30間に位置する潤滑材粉末との働きにより、上述の加圧成形時において優れた潤滑性を得ることができる。

[0061] また、ステアリン酸亜鉛は、層状の形態をしており、表面が次々と剥がれ落ちるような滑り性を示す。さらに、ステアリン酸亜鉛は、ステアリン酸カルシウムやステアリン酸アルミニウムと比較して高い硬度を有する。このため、潤滑性粉末としてステアリン酸亜鉛を用いた場合には、特に優れた潤滑性を得ることができる。

[0062] 次に、加圧成形によって得られた成形体に、 $400^{\circ}\text{C}$ 以上絶縁被膜20の熱分解温度未満の温度で熱処理を行なう。これにより、成形体の内部に存在する歪みや転位を取り除く。この際、熱処理は、絶縁被膜20の熱分解温度未満の温度で実施されているため、この熱処理によって絶縁被膜20が劣化するということがない。熱処理後、成形体に押出し加工や切削加工など適当な加工を施すことによって、図1中に示す

圧粉磁心が完成する。

- [0063] このように構成された軟磁性材料および圧粉磁心によれば、加圧成形時に複合磁性粒子30間において優れた潤滑性が得られる。このため、加圧成形時に絶縁被膜20が破壊されることを防止するとともに、金属磁性粒子10の内部に大きい歪みが導入されることを抑制する。また、潤滑性粉末の添加量は0.1質量%以下であるため、圧粉磁心に占める非磁性層の割合は低く抑えられている。またこのため、金属磁性粒子10間の距離が大きくなることを防止でき、反磁界の発生を抑制できる。これらの理由から、圧粉磁心の渦電流損およびヒステリシス損を低減させ、鉄損の小さい圧粉磁心を得ることができる。また、本実施の形態における軟磁性材料は高い潤滑性を示し、流れ性に優れているため、金型に軟磁性材料を充填する際、その充填度を均一にできる。これにより、圧粉磁心を、ばらつきのない密度を有する均一な製品に完成させることができる。

- [0064] (実施例1)

以下に説明する実施例によって、実施の形態1における軟磁性材料と、その軟磁性材料から作製される圧粉磁心との評価を行なった。

- [0065] まず、複合磁性粒子30としてのリン酸塩被膜鉄粉(ヘガネスジャパン社製の商品名「Somaloy500」)に、潤滑性粉末としてのステアリン酸亜鉛(日本油脂株式会社製の商品名「MZ-2」、平均粒径 $0.8\mu\text{m}$ )を所定量、添加した。次に、V型混合機を用いて、1時間これらを混合し、リン酸塩被膜鉄粉に対するステアリン酸亜鉛の添加量が異なる複数種の軟磁性材料を準備した。また比較のため、リン酸塩被膜が施されていない鉄粉(ヘガネスジャパン社製の商品名「ABC100.30」)を用いて、同様に、ステアリン酸亜鉛の添加量が異なる複数種の軟磁性材料を準備した。

- [0066] 軟磁性材料が有する潤滑性を評価するため、準備された複数種の軟磁性材料に対して、「JIS Z 2504」に規定された見掛け密度の測定と、「JIS Z 2502」に規定された流動度の測定とを実施した。充填密度とも呼ばれる見掛け密度は、一定容積のシリンダ状容器に一定の方法で自由に落下充填させた場合の重量と体積とから求められ、この値が大きいほど軟磁性材料の潤滑性が良好であると判断される。また、流動度は、流動率、流動速度とも呼ばれ、粉末の流れやすさを示す。流動度は、一

定重量(50g)の混合粉末が一定寸法( $\phi$  4.0mm)を有するオリフィスから流れ出すのに要する時間で表され、この値が小さいほど軟磁性材料の潤滑性が良好であると判断される。

[0067] 図3および図5では、図2および図4中にそれぞれ示す測定結果であって、ステアリン酸亜鉛の添加量が0から0.05質量%までの範囲の測定結果が拡大して示されている。

[0068] 図2および図3を参照して分かるように、ステアリン酸亜鉛の添加量が0.001質量%以上0.1質量%以下の範囲で、リン酸塩被膜鉄粉を用いた場合に、高い値の見掛け密度を得ることができた。また、その中でもステアリン酸亜鉛の添加量が0.025質量%以下の範囲で、特に高い値の見掛け密度を得ることができた。同様に、図4および図5を参照して、ステアリン酸亜鉛の添加量が0.001質量%以上0.1質量%以下の範囲で、リン酸塩被膜鉄粉を用いた場合に、良好な流動性を得ることができた。また、その中でもステアリン酸亜鉛の添加量が0.025質量%以下の範囲で、特に良好な流動性を得ることができた。

[0069] (実施例2)

続いて、潤滑性粉末として日本油脂株式会社製のステアリン酸亜鉛(ジンクステアレート)を用意し、乾式ふるいによる分級によって、平均粒径を $0.8\mu\text{m}$ 、 $1.6\mu\text{m}$ 、 $2.3\mu\text{m}$ および $7.5\mu\text{m}$ とした4種類のステアリン酸亜鉛を準備した。次に、これらを所定量、複合磁性粒子30としてのリン酸塩被膜鉄粉(ヘガネスジャパン社製の商品名「Somaloy500」)に添加して、実施例1と同様に混合した。これにより、ステアリン酸亜鉛の平均粒径と、リン酸塩被膜鉄粉に対するステアリン酸亜鉛の添加量とが異なる複数種の軟磁性材料を準備した。

[0070] このように準備された軟磁性材料に対して、実施例1と同様に、見掛け密度の測定と流動度の測定とを実施した。図7および図9では、図6および図8中に示すそれぞれの測定結果で、ステアリン酸亜鉛の添加量が0から0.05質量%までの範囲の測定結果が拡大して示されている。

[0071] 図6および図7を参照して分かるように、ステアリン酸亜鉛の平均粒径が $2.0\mu\text{m}$ 以下の場合に、高い値の見掛け密度を得ることができた。また、その中でもステアリン酸

亜鉛の平均粒径が $1.0\mu\text{m}$ 以下の場合に、特に高い値の見掛け密度を得ることができた。同様に、図8および図9を参照して、ステアリン酸亜鉛の平均粒径が $2.0\mu\text{m}$ 以下の場合に、良好な流動性を得ることができた。また、その中でもステアリン酸亜鉛の平均粒径が $1.0\mu\text{m}$ 以下の場合に、特に良好な流動性を得ることができた。

[0072] 以上に説明した実施例1および2の結果から、本発明による軟磁性材料が優れた潤滑性を有することを確認できた。なお、他種の金属石鹸(ステアリン酸アルミニウム、ステアリン酸カルシウムなど)に関しても、実施例1および2に説明した結果と同様の結果を得ることができるが、見掛け密度および流動度の双方とも、潤滑性粉末としてステアリン酸亜鉛を用いた場合に最も良好な結果を得ることができる。このことは、ステアリン酸亜鉛が層状構造を有することに起因するものと考えられるが、他に要因が存在することも考えられる。

[0073] (実施例3)

実施例2で用いた軟磁性材料から数種を選択し、これを加圧成形することによってリング状の圧粉磁心(外径30mm×内径20mm×厚み5mm)を作製した。加圧圧力は、面圧 $1078\text{MPa}(=11\text{ton}/\text{cm}^2)$ とした。得られた圧粉磁心の周囲にコイル(1次巻き数が300回、2次巻き数が20回)を均等に巻き、圧粉磁心の磁気的特性の評価を行なった。評価には、理研電子製のBHトレーサ(ACBH-100K型)を用い、励起磁束密度を $10\text{kG}$ (キログauss)とし、測定周波数を $1000\text{Hz}$ とした。測定により得られた圧粉磁心の鉄損値 $W_{10/1000}$ を表1に示した。

[0074] なお、鉄損値は、ヒステリシス損と渦電流損との和によって表され、ヒステリシス損係数 $K_h$ 、渦電流損係数 $K_e$ および周波数 $f$ を用いて次式により求まる値である。

[0075] 
$$W = K_h \times f + K_e \times f^2$$

[0076] [表1]

ステアリン酸亜鉛 の平均粒径 ( $\mu\text{m}$ )	鉄損値 $W_{10/1000}$ (W/kg)								
	ステアリン酸亜鉛の添加量(質量%)								
	0	0.0004	0.0010	0.0050	0.0100	0.0250	0.0500	0.1000	0.2500
0.8	305	204	159	145	162	180	185	195	324
1.6	305	245	191	174	194	216	222	234	389
2.3	305	367	286	261	292	324	333	351	583
7.5	305	477	372	339	379	421	433	456	758

[0077] 表1を参照して、ステアリン酸亜鉛の平均粒径が $2.0\mu\text{m}$ 以下で、かつ添加量が $0.001$ 質量%以上 $0.1$ 質量%以下の軟磁性材料を用いた場合に、小さい鉄損値を得ることができた。またその中でも、ステアリン酸亜鉛の添加量が $0.025$ 質量%以下の軟磁性材料を用いた場合に、特に小さい鉄損値を得ることができた。

[0078] 潤滑性粉末として設けたステアリン酸亜鉛の添加量が少なすぎると、ステアリン酸亜鉛を添加したことによる効果を十分に得られず、加圧成形時に絶縁被膜20として設けたリン酸塩被膜が破壊される。また、粉末同士の流動性が悪化し、加圧成形時に鉄粉の内部に導入される歪み量が大きくなる。これらの理由から渦電流損とヒステリシス損とが増大し、鉄損が劣化する原因になったものと考えられる。一方、ステアリン酸亜鉛の添加量が多すぎると、鉄粉間に介在する非磁性層の量が多くなる。このため、鉄粉間に反磁界が発生し、鉄損の劣化が引き起こされたものと考えられる。

[0079] また、ステアリン酸亜鉛の粒度が小さいと、ステアリン酸亜鉛を鉄粉の表面に均一かつ薄く分布させることができ、潤滑効果を最大限に得ることができる。一方、ステアリン酸亜鉛の粒度が大きいと、同じ添加量であっても鉄粉間に存在する確率が低下し、加圧成形時に得られる潤滑性が劣化する。このため、本実施例においては、ステアリン酸亜鉛の平均粒径が $2.0\mu\text{m}$ 以下の範囲で、圧粉磁心の鉄損値を低減できたと考えられる。

[0080] 以上に説明した実施例3の結果から、本発明による圧粉磁心によれば、磁気的特性の向上が得られることを確認できた。

[0081] (実施の形態2)

図10を参照して、圧粉磁心は、金属磁性粒子110と、金属磁性粒子110の表面を取り囲む絶縁被膜120とから構成された複数の複合磁性粒子130を備える。複数の

複合磁性粒子130の間には、六方晶系の結晶構造を有する無機潤滑剤140が介在している。複数の複合磁性粒子130の各々は、無機潤滑剤140によって接合されていたり、複合磁性粒子130が有する凹凸の噛み合わせによって接合されている。

[0082] 無機潤滑剤140は、六方晶系の結晶構造を有する、たとえば窒化ホウ素(BN)、二硫化モリブデン( $\text{MoS}_2$ )、二硫化タングステン( $\text{WS}_2$ )またはグラファイトなどから形成されている。無機潤滑剤140は、複数の複合磁性粒子130に対して0を超え0.05質量%未満の割合で、圧粉磁心に含まれている。また好ましくは、無機潤滑剤140は、複数の複合磁性粒子130に対して0.0005質量%以上0.01質量%以下の割合で、圧粉磁心に含まれている。さらに好ましくは、無機潤滑剤140は、複数の複合磁性粒子130に対して0.0005質量%以上0.001質量%以下の割合で、圧粉磁心に含まれている。

[0083] 金属磁性粒子110は、たとえば、鉄(Fe)、鉄(Fe)－シリコン(Si)系合金、鉄(Fe)－窒素(N)系合金、鉄(Fe)－ニッケル(Ni)系合金、鉄(Fe)－炭素(C)系合金、鉄(Fe)－ホウ素(B)系合金、鉄(Fe)－コバルト(Co)系合金、鉄(Fe)－リン(P)系合金、鉄(Fe)－ニッケル(Ni)－コバルト(Co)系合金および鉄(Fe)－アルミニウム(Al)－シリコン(Si)系合金などから形成されている。金属磁性粒子110は、金属単体であっても合金であってもよい。

[0084] 金属磁性粒子110の平均粒径は、 $100\ \mu\text{m}$ 以上 $300\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。金属磁性粒子110の平均粒径を $100\ \mu\text{m}$ 以上にすることによって、金属磁性粒子110の全体に占める、金属磁性粒子110の表面エネルギーによる応力歪みの影響を受ける領域の割合を小さくすることができる。この金属磁性粒子110の表面エネルギーによる応力歪みとは、金属磁性粒子110の表面に存在する歪みや欠陥に起因して発生する応力歪みのことであり、その存在は、磁壁の移動を妨げる原因となる。このため、金属磁性粒子110の全体に占めるこの応力歪みの割合を小さくすることによって、圧粉磁心のヒステリシス損を低減させることができる。

[0085] 一方、金属磁性粒子110に高周波磁場を印加した場合、表皮効果によって、粒子の表面にのみ磁場が形成され、粒子内部に磁場が形成されない領域が生じる。この粒子内部に生じた磁場が形成されない領域は、金属磁性粒子110の鉄損を増大さ

せる。そこで、金属磁性粒子110の平均粒径を $300\mu\text{m}$ 以下にすることによって、粒子内部で磁場が形成されない領域が生じることを抑制し、これにより圧粉磁心の鉄損を低減させることができる。

[0086] なお、ここで言う平均粒径とは、レーザー散乱回折法によって測定した粒径のヒストグラム中、粒径の小さいほうからの質量の和が総質量の50%に達する粒子の粒径、つまり50%粒径Dをいう。

[0087] 絶縁被膜120は、たとえば、金属磁性粒子110をリン酸処理することによって形成されている。また好ましくは、絶縁被膜120は、酸化物を含有する。この酸化物を含有する絶縁被膜120としては、リンと鉄とを含むリン酸鉄の他、リン酸マンガン、リン酸亜鉛、リン酸カルシウム、リン酸アルミニウム、酸化シリコン、酸化チタン、酸化アルミニウムまたは酸化ジルコニウムなどの酸化物絶縁体を使用することができる。絶縁被膜120は、図中に示すように1層に形成されていても良いし、多層に形成されていても良い。

[0088] 絶縁被膜120は、金属磁性粒子110間の絶縁層として機能する。金属磁性粒子110を絶縁被膜120で覆うことによって、圧粉磁心の電気抵抗率 $\rho$ を大きくすることができる。これにより、金属磁性粒子110間に渦電流が流れるのを抑制して、渦電流に起因する鉄損を低減させることができる。

[0089] 絶縁被膜120の平均厚みは、5nm以上100nm以下とすることが好ましい。ここで言う平均厚みとは、組成分析(TEM-EDX:transmission electron microscope energy dispersive X-ray spectroscopy)によって得られる膜組成と、誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS:inductively coupled plasma-mass spectrometry)によって得られる元素量とを鑑みて相当厚さを導出し、さらに、TEM写真により直接、被膜を観察し、先に導出された相当厚さのオーダーが適正な値であることを確認して決定されるものをいう。

[0090] 絶縁被膜120の平均厚みを5nm以上とすることで、被膜中を流れるトンネル電流を抑制し、このトンネル電流に起因する渦電流損の増大を抑えることができる。また、絶縁被膜120の平均厚みを100nm以下とした場合、金属磁性粒子110間の距離が大きくなりすぎるということがない。これにより、金属磁性粒子110間に反磁界が発生す

ることを防止し、反磁界の発生に起因したヒステリシス損の増大を抑制できる。また、圧粉磁心に占める非磁性層の体積比率を抑えることによって、圧粉磁心の磁束密度が低下することを抑制できる。

[0091] 無機潤滑剤140に加えて、複数の複合磁性粒子130間に熱可塑性樹脂が介在していても良い。この場合、熱可塑性樹脂は、複数の複合磁性粒子130に対して0.001質量%以上0.1質量%以下の割合で、圧粉磁心に含まれている。熱可塑性樹脂は、複数の複合磁性粒子130間を強固に接合し、圧粉磁心の強度を向上させる。このような熱可塑性樹脂としては、たとえば、熱可塑性ポリイミド、熱可塑性ポリアミド、熱可塑性ポリアミドイミド、高分子量ポリエチレン、ポリフェニレンサルファイド、ポリアミドイミド、ポリエーテルスルホン、ポリエーテルイミドまたはポリエーテルエーテルケトンなどを用いることができる。なお、高分子量ポリエチレンとは、分子量が10万以上のポリエチレンをいう。

[0092] この発明の実施の形態2における圧粉磁心は、互いに接合された複数の複合磁性粒子130と、複数の複合磁性粒子130に対して0を超え0.05質量%未満の割合で、複数の複合磁性粒子130の各々の間に介在し、六方晶系の結晶構造を有する無機潤滑剤140とを備える。

[0093] 続いて、図10中に示す圧粉磁心を製造する方法について説明を行なう。まず、水アトマイズ法やガスアトマイズ法などを用いて作製した金属磁性粒子110を準備する。次に、金属磁性粒子110に所定の被膜処理を実施し、金属磁性粒子110が絶縁被膜120によって覆われた複合磁性粒子130を形成する。

[0094] 次に、得られた複合磁性粒子130に無機潤滑剤140を所定の割合で添加し、V型混合機を用いてこれらを混合することによって、混合粉末を得る。この際、無機潤滑剤140と同時に、熱可塑性樹脂を所定の割合で添加しても良い。なお、混合方法に特に制限はなく、たとえばメカニカルアロイング法、振動ボールミル、遊星ボールミル、メカノフュージョン、共沈法、化学気相蒸着法(CVD法)、物理気相蒸着法(PVD法)、めっき法、スパッタリング法、蒸着法またはゾルーゲル法などのいずれを使用することも可能である。

[0095] 次に、得られた混合粉末を金型に入れ、たとえば、700MPaから1500MPaまでの

圧力で加圧成形する。これにより、混合粉末が圧縮されて成形体が得られる。加圧成形する雰囲気は、不活性ガス雰囲気または減圧雰囲気とすることが好ましい。この場合、大気中の酸素によって混合粉末が酸化されるのを抑制できる。

[0096] この加圧成形時、無機潤滑剤140は、隣り合う複合磁性粒子130間に介在することによって、複合磁性粒子130同士が強く擦れ合うことを防止する。この際、無機潤滑剤140は優れた潤滑性を示すため、微量しか含まれていないにもかかわらず、複合磁性粒子130の外表面に設けられた絶縁被膜120が破壊されるということがない。これにより、絶縁被膜120が金属磁性粒子110の表面を覆う形態を維持することができ、絶縁被膜120を金属磁性粒子110間の絶縁層として確実に機能させることができる。

[0097] 次に、加圧成形によって得られた成形体に、400℃以上絶縁被膜120の熱分解温度未満の温度で熱処理を行なう。これにより、成形体の内部に存在する歪みや転位を取り除く。この際、無機潤滑剤140は優れた耐熱性を示すため、400℃以上という高温で熱処理しているにもかかわらず、無機潤滑剤140が熱分解されることがない。これにより、無機潤滑剤140が金属磁性粒子110内に拡散することを防止し、金属磁性粒子110の磁気的特性が低下することを抑制できる。また、熱処理は、絶縁被膜120の熱分解温度未満の温度で実施されているため、この熱処理によって絶縁被膜120が劣化することを防止できる。

[0098] 熱処理後、成形体に押出し加工や切削加工など適当な加工を施すことによって、図10中に示す圧粉磁心が完成する。

[0099] 以上の工程により作製された図10中に示す圧粉磁心は、好ましくは、95%以上の充填率を有する。圧粉磁心の充填率は、絶縁被膜120や無機潤滑剤140、複合磁性粒子130間の空孔を含んで測定された圧粉磁心の実測密度を、金属磁性粒子110の理論密度で割った値で求められる。金属磁性粒子110の理論密度には、絶縁被膜120および無機潤滑剤140が考慮されていないが、これらの全体に占める割合は非常に小さいため、上述の方法により実際の充填率に近似する値を得ることができる。また、金属磁性粒子110が合金からなる場合は、たとえば金属磁性粒子110が鉄-コバルト合金から形成されている場合を想定すると、金属磁性粒子110の理論密

度は、(鉄の理論密度×金属磁性粒子110に占める鉄の体積率) + (コバルトの理論密度×金属磁性粒子110に占めるコバルトの体積率)によって求めることができる。

- [0100] このように構成された圧粉磁心およびその製造方法によれば、潤滑性に優れた無機潤滑剤140を用いることによって、添加量が微少であっても、絶縁被膜120を破壊させることなく加圧成形を実施することができる。これにより、適切に保護された絶縁被膜120によって圧粉磁心の渦電流損を低減させることができる。また、無機潤滑剤140の含有量を低く抑えるとともに、充填率を高くして圧粉磁心を作製することができるため、圧粉磁心のヒステリシス損を低減させることができる。結果、渦電流損およびヒステリシス損の低減を通じて、圧粉磁心の鉄損を小さくすることができる。なお、実施の形態1および2でそれぞれ説明した粒子径や添加量等の各構成を、一方の実施の形態から他方の実施の形態に適用しても良い。

- [0101] (実施例4)

以下に説明する実施例によって、実施の形態2における圧粉磁心とその製造方法との評価を行なった。

- [0102] まず、V型混合機を用いて、複合磁性粒子130としてのヘガネス社製の鉄粉(商品名「Somaloy500」:金属磁性粒子110としての鉄粒子の表面に、絶縁被膜120としてのリン酸塩被膜が形成、平均粒径 $100\mu\text{m}$ )と、無機潤滑剤140としての水島合金鉄株式会社製の六方晶系窒化ホウ素(h-BN)(平均粒径 $2\mu\text{m}$ )とを2時間、混合して、500gの混合粉末を得た。この際、無機潤滑剤140を混合する量を変化させることで、無機潤滑剤140の添加量が異なる複数種の混合粉末を得た。また、比較のため、無機潤滑剤140を全く添加しない複合磁性粒子130も準備した。

- [0103] 本実施例では、無機潤滑剤140が有する潤滑性を評価するため、その混合粉末に対して、「JIS Z 2504」に規定された見掛け密度の測定と、「JIS Z 2502」に規定された流動度の測定とを実施した。充填密度とも呼ばれる見掛け密度は、一定容積のシリンダ状容器に一定の方法で自由に落下充填させた場合の重量と体積とから求められ、この値が大きいほど無機潤滑剤140の潤滑性が良好に作用していると判断できる。また、流動度は、流動率、流動速度とも呼ばれ、粉末の流れやすさを示す。流動度は、一定重量(50g)の混合粉末が一定寸法( $\phi 4.0\text{mm}$ )を有するオリフィス

から流れ出すのに要する時間で表され、この値が小さいほど無機潤滑剤140の潤滑性が良好に作用していると判断できる。

[0104] 測定によって得られた混合粉末の見掛け密度および流動度の値を表2に示すとともに、その値をそれぞれ図11および図12中にプロットして示した。

[0105] [表2]

無機潤滑剤の添加量(質量%)		0	0.0005	0.0010	0.0050	0.0100	0.0250	0.1000
見掛け密度 (g/cm <sup>3</sup> )	Soma oy500	3.07	3.58	3.70	3.04	3.06	3.07	2.88
流動度(sec)	Soma oy500	8.62	6.40	6.17	8.60	8.51	8.62	8.47

[0106] 図11を参照して、無機潤滑剤140の添加量がより少ない0.001質量%付近で、最も高い値の見掛け密度が得られた。図12を参照して、同様に、無機潤滑剤140の添加量が0.001質量%付近で、もっと低い値の流動度が得られた。このことから、無機潤滑剤140の添加量が少ない場合であっても、無機潤滑剤140が複合磁性粒子130の粒子間で潤滑剤として十分に機能することを確認できた。

[0107] (実施例5)

実施例4で準備した混合粉末を面圧10ton/cm<sup>2</sup>で加圧成形して、リング状の成形体(外径34mm×内径20mm×高さ5mm)を作製した。得られた成形体にコイル(1次巻き数が300回、2次巻き数が20回)を設けて、磁場を印加し、BHカーブトレーサにより鉄損(励起磁束密度1(T:テスラ)、測定周波数1kHz)を測定した。

[0108] 次に、窒素雰囲気中において、温度400℃で1時間、成形体に熱処理を行なった。上述と同様の方法により、熱処理後の成形体の鉄損を測定するとともに、成形体の磁束密度B100(100(Oe:エルステッド)の磁場を印加した場合の磁束密度)を測定した。また併せて、成形体の密度も測定した。

[0109] 以上の測定により得られた各値を表3に示すとともに、その値を図13および図14中にプロットして示した。なお、図14では、無機潤滑剤140の添加量を示す横軸が、対数目盛りで表されている。

[0110] [表3]

無機潤滑剤の 添加量(質量%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	磁束密度 B100(T)	鉄損(w/kg)	
			熱処理前	熱処理後
0.0000	7.6	1.562	252.7	772.6
0.0005	7.63	1.568	160.8	136.2
0.0010	7.65	1.576	156.2	133.7
0.0050	7.61	1.559	161.2	135.2
0.0100	7.63	1.565	163.3	137.2
0.0250	7.61	1.563	167.7	147.2
0.0500	7.59	1.551	182.2	164.7
0.1000	7.55	1.512	184.1	167.4

[0111] 表3、図13および図14を参照して、熱処理前の成形体において、0を超え0.05質量%未満の割合で無機潤滑剤140を含む場合に、無機潤滑剤140を添加しなかった場合や0.05質量%以上の割合で無機潤滑剤140を含む場合と比較して、低い鉄損値を得ることができた。さらに400℃の温度で熱処理することによって、この鉄損値をさらに低減させることができた。また、0を超え0.05質量%未満の割合で無機潤滑剤140を含む場合、他の場合と比較して、密度および磁束密度とも高い値を得ることができた。

[0112] (実施例6)

本実施例では、実施例4で準備した、無機潤滑剤140の添加量を0.001質量%とした混合粉末に、熱可塑性樹脂としてのポリフェニレンサルファイド(PPS)がさらに混合された混合粉末を準備した。この際、熱可塑性樹脂を混合する量を0.001質量%から0.15質量%の範囲で変化させることで、熱可塑性樹脂の添加量が異なる複数種の混合粉末を得た。また、比較のため、熱可塑性樹脂を全く添加しない、無機潤滑剤140の添加量を0.001質量%とした複合磁性粒子130も準備した。

[0113] この混合粉末を用いて、実施例5と同様にリング状の成形体を作製し、さらに得られた成形体に、異なる温度条件で熱処理を行なった。熱処理温度は、200℃および400℃とした。実施例5と同様に、熱処理前の成形体と、それぞれの温度で熱処理された成形体とに対して、磁気的特性の測定を行なった。また、400℃の温度で熱処理された成形体に対して、密度の測定を行なった。

[0114] 以上の測定により得られた各値を表4に示すとともに、その値を図15中にプロットして示した。

[0115] [表4]

無機潤滑剤 の添加量 (質量%)	熱可塑性 樹脂 (質量%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	磁束密度 B100 (T)	鉄損 (w/kg)		
				熱処理前	200°C 熱処理後	400°C 熱処理後
0.0010	0.000	7.65	1.576	156.2	145.8	133.7
0.0010	0.001	7.66	1.571	153.4	144.1	125.6
0.0010	0.050	7.56	1.532	152.7	143.4	122.9
0.0010	0.100	7.51	1.517	162.3	148.4	130.7
0.0010	0.150	7.44	1.471	174.7	164.2	143.2

[0116] 表4および図15を参照して、400°Cの熱処理を実施した場合、0.001質量%以上0.1質量%以下の割合で熱可塑性樹脂を含む成形体では、熱可塑性樹脂を含まない成形体よりも鉄損値を低減させることができた。一方、0.1質量%を超えて熱可塑性樹脂を含む場合には、鉄損値が逆に増大した。このことから、適当な割合で熱可塑性樹脂を加えることによって、磁気的特性のさらなる向上が得られることを確認できた。

[0117] (実施例7)

本実施例では、実施例4で準備した、無機潤滑剤140の添加量を0.001質量%とした混合粉末を加圧成形して、実施例5と同様のリング状の成形体を作製した。この際、加圧圧力を変化させ、加圧成形時の条件が異なる複数種の成形体を作製した。その後、さらに400°Cの温度で1時間の熱処理を成形体に行なった。実施例5と同様に、熱処理前および熱処理後の成形体に対して、磁気的特性の測定を行なった。また、熱処理後の成形体に対して密度の測定を行ない、さらに、実施の形態に記載の方法に従って成形体の充填率を算出した。

[0118] 以上の測定により得られた各値を表5に示すとともに、その値を図16中にプロットして示した。

[0119] [表5]

加圧圧力 (ton/cm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	充填率 (%)	磁束密度 B100 (T)	鉄損 (w/kg)	
				熱処理前	熱処理後
8	7.32	93.1	1.389	189.1	155.5
9	7.43	94.5	1.483	184.2	151.2
10	7.57	96.3	1.529	158.4	136.1
11	7.65	97.3	1.576	156.2	133.7
12	7.69	97.8	1.603	154.1	134.4

[0120] 表5および図16を参照して、加圧成形時の圧力を10ton/cm<sup>2</sup>以上にするによって、充填率が95%以上の成形体を得ることができた。このとき、成形体の鉄損を大幅に低減させることができた。

[0121] (実施例8)

本実施例では、まず、実施例4で用いたヘガネス社製の鉄粉に対して、潤滑剤としてナイロン系樹脂を所定の割合で添加した混合粉末と、潤滑剤として実施例4で用いた六方晶系窒化ホウ素を所定の割合で添加した混合粉末と、潤滑剤としての実施例4で用いた六方晶系窒化ホウ素および熱可塑性樹脂としてのポリフェニレンサルファイド(PPS)をそれぞれ所定の割合で添加した混合粉末とを準備した。

[0122] これらの混合粉末を用いて、実施例5と同様にリング状の成形体を作製し、さらに得られた成形体に、異なる温度条件で熱処理を行なった。熱処理温度は、200℃、300℃および400℃とした。実施例5と同様に、熱処理前の成形体と、それぞれの温度で熱処理された成形体とに対して、磁気的特性の測定を行なった。また、400℃の温度で熱処理された成形体に対して密度の測定を行なった。

[0123] 以上の測定により得られた各値を表6に示すとともに、その値を図17中にプロットして示した。

[0124] [表6]

潤滑剤	熱可塑性樹脂	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	磁束密度 B100 (T)	鉄損 (W/kg)			
				熱処理前	200°C熱処理後	300°C熱処理後	400°C熱処理後
ナフチン系樹脂 (0.1 質量%)	0	7.49	1.510	161.1	153.7	154.9	201.5
窒化ホウ素 (0.0010 質量%)	0	7.65	1.576	156.2	145.8	141.7	133.7
窒化ホウ素 (0.0010 質量%)	ポリフェニレンサルファイド (PPS) (0.05 質量%)	7.56	1.532	152.7	143.4	137.9	122.9

[0125] 表6および図17を参照して、六方晶系窒化ホウ素を添加した混合粉末を用いた場

合、熱処理温度を上昇させることで鉄損値を低減させることができた。一方、ナイロン系樹脂を添加した混合粉末を用いた場合、熱処理温度を400℃まで上昇させると、鉄損値が増加した。耐熱性に劣るナイロン系樹脂が、熱処理時に熱分解したためと考えられる。

[0126] 今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

#### 産業上の利用可能性

[0127] この発明は、たとえば、軟磁性粉末が加圧成形されて作製されるモーターコア、電磁弁、リアクトルもしくは電磁部品一般の製造に利用される。

## 請求の範囲

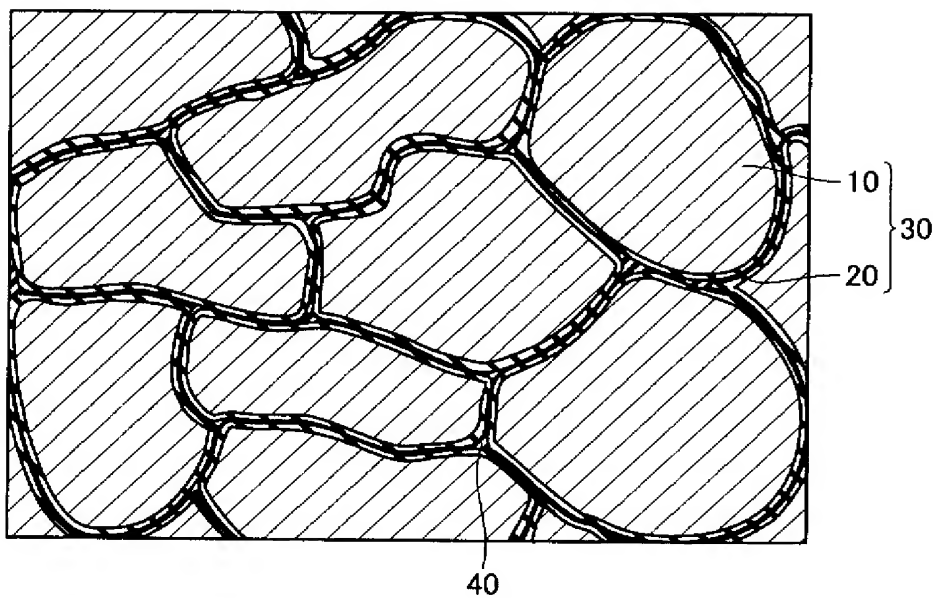
- [1] 圧粉磁心の作製に用いられる軟磁性材料であって、  
金属磁性粒子(10)と、前記金属磁性粒子(10)の表面を取り囲み、リン酸金属塩および酸化物の少なくとも一方を含む絶縁被膜(20)とを有する複数の複合磁性粒子(30)と、  
前記複数の複合磁性粒子(30)に対して、0.001質量%以上0.1質量%以下の割合で添加された微粒子状の潤滑剤とを備える、軟磁性材料。
- [2] 前記微粒子状の潤滑剤の平均粒径は、 $2.0\ \mu\text{m}$ 以下である、請求項1に記載の軟磁性材料。
- [3] 前記微粒子状の潤滑剤は、金属石鹸および六方晶系の結晶構造を有する無機潤滑剤の少なくとも一方を含む、請求項1に記載の軟磁性材料。
- [4] 前記複数の複合磁性粒子(30)に対する前記微粒子状の潤滑剤の割合が、0.001質量%以上0.025質量%以下である、請求項1に記載の軟磁性材料。
- [5] 前記複数の複合磁性粒子(30)に対して0.001質量%以上0.1質量%以下の割合で、前記複数の複合磁性粒子(30)の各々の間に介在する熱可塑性樹脂をさらに備える、請求項1に記載の軟磁性材料。
- [6] 請求項1に記載の軟磁性材料を用いて作製された、圧粉磁心。
- [7] 充填率(密度)が95%以上である、請求項6に記載の圧粉磁心。

## 補正書の請求の範囲

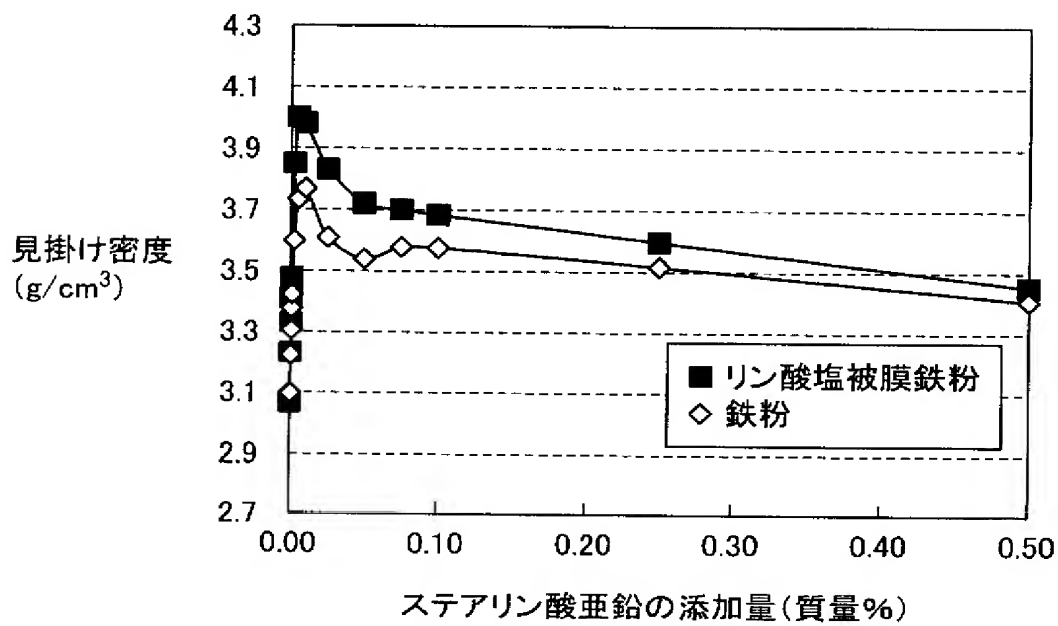
[2005年8月11日 (11.08.05) 国際事務局受理：出願当初の請求の範囲 1 は補正された；  
出願当初の請求の範囲 2 は取り下げられた；他の請求の範囲は変更なし。]

- [1] (補正後) 圧粉磁心の作製に用いられる軟磁性材料であって、  
金属磁性粒子(10)と、前記金属磁性粒子(10)の表面を取り囲み、リン酸金属塩  
および酸化物の少なくとも一方を含む絶縁被膜(20)とを有する複数の複合磁性粒  
子(30)と、  
前記複数の複合磁性粒子(30)に対して、0.001質量%以上0.1質量%以下の  
割合で添加された微粒子状の潤滑剤とを備え、  
前記微粒子状の潤滑剤の平均粒径は、 $2.0\mu\text{m}$ 以下である、軟磁性材料。
- [2] (削除)
- [3] 前記微粒子状の潤滑剤は、金属石鹸および六方晶系の結晶構造を有する無機潤  
滑剤の少なくとも一方を含む、請求項1に記載の軟磁性材料。
- [4] 前記複数の複合磁性粒子(30)に対する前記微粒子状の潤滑剤の割合が、0.00  
1質量%以上0.025質量%以下である、請求項1に記載の軟磁性材料。
- [5] 前記複数の複合磁性粒子(30)に対して0.001質量%以上0.1質量%以下の割  
合で、前記複数の複合磁性粒子(30)の各々の間に介在する熱可塑性樹脂をさらに  
備える、請求項1に記載の軟磁性材料。
- [6] 請求項1に記載の軟磁性材料を用いて作製された、圧粉磁心。
- [7] 充填率(密度)が95%以上である、請求項6に記載の圧粉磁心。

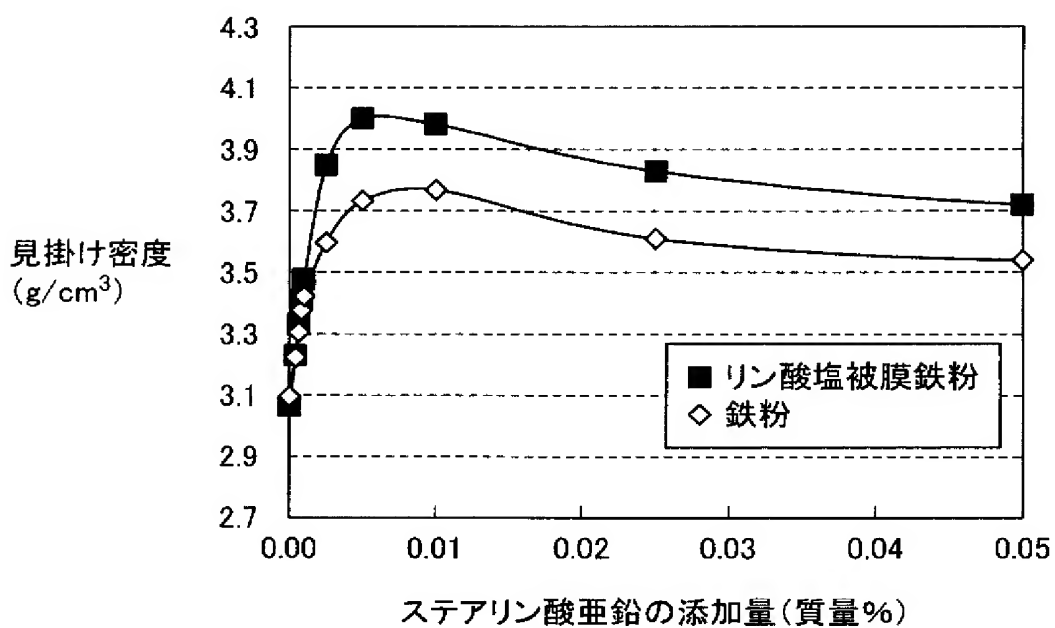
[図1]



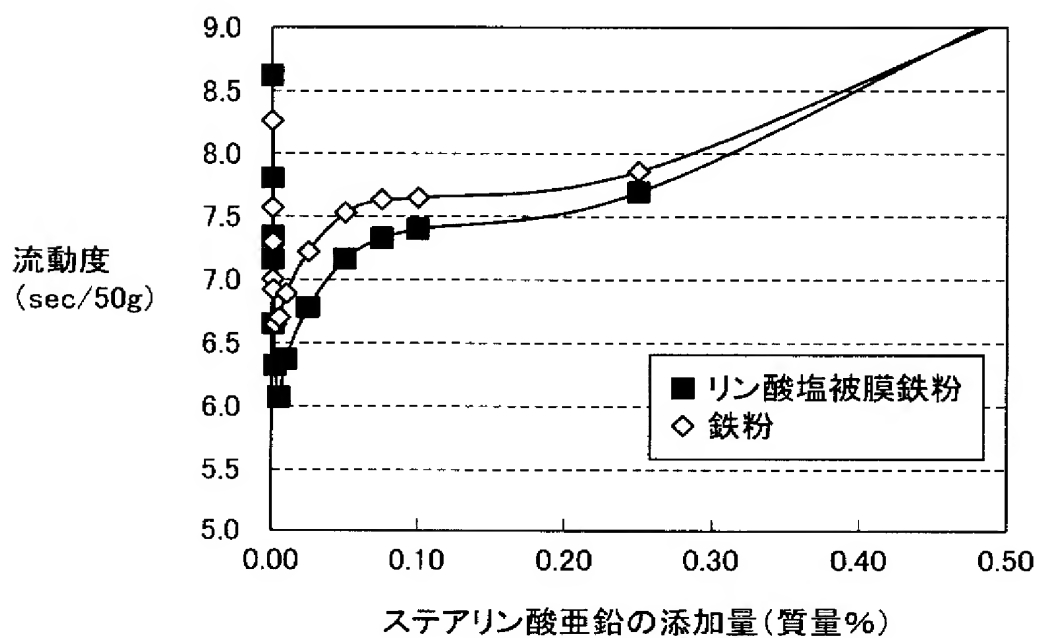
[図2]



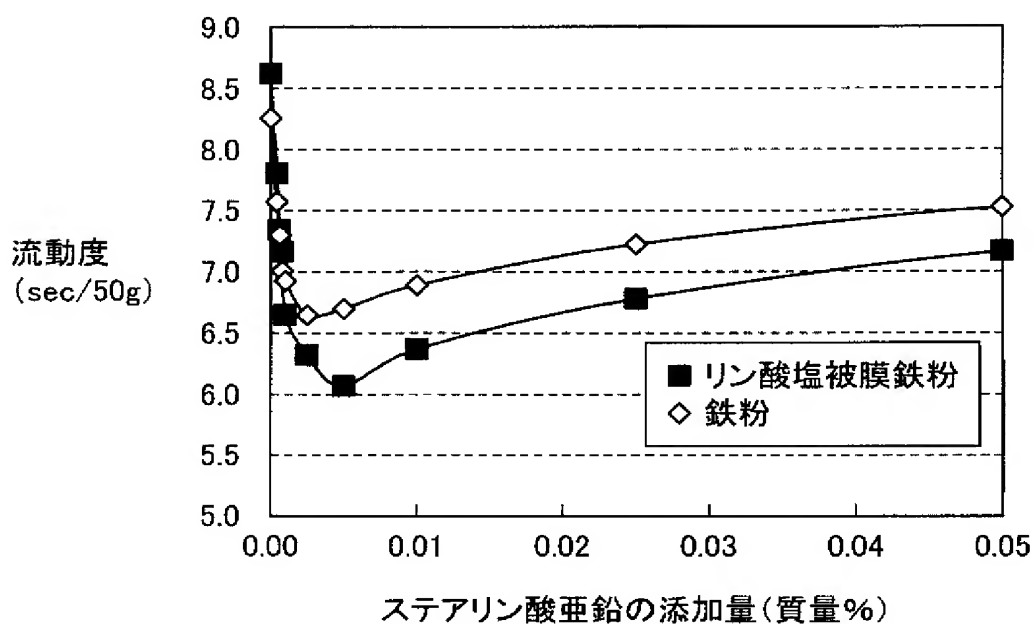
[図3]



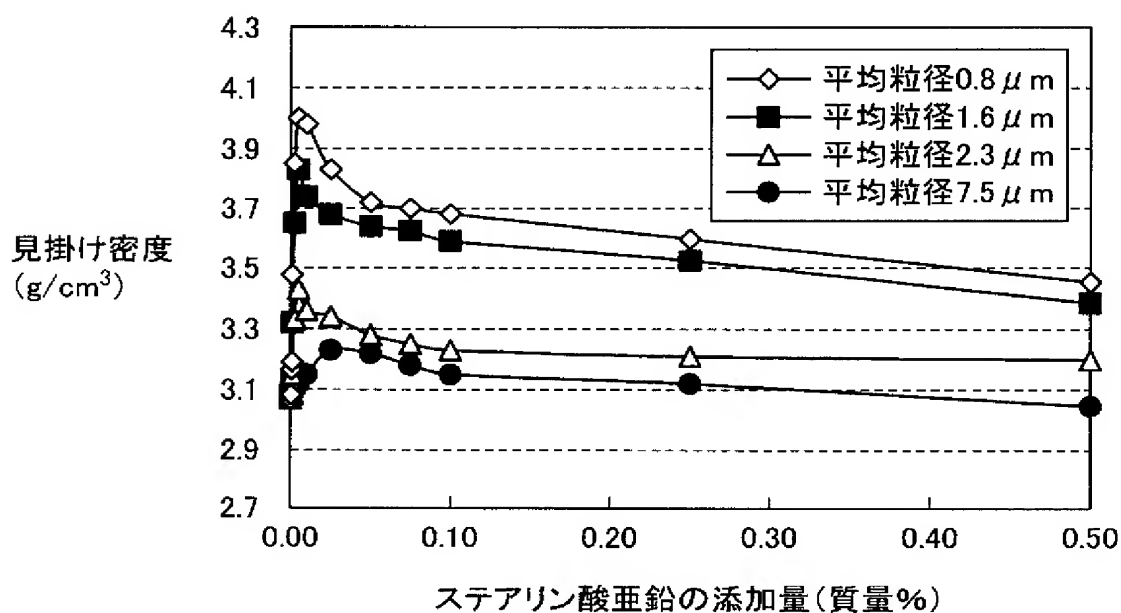
[図4]



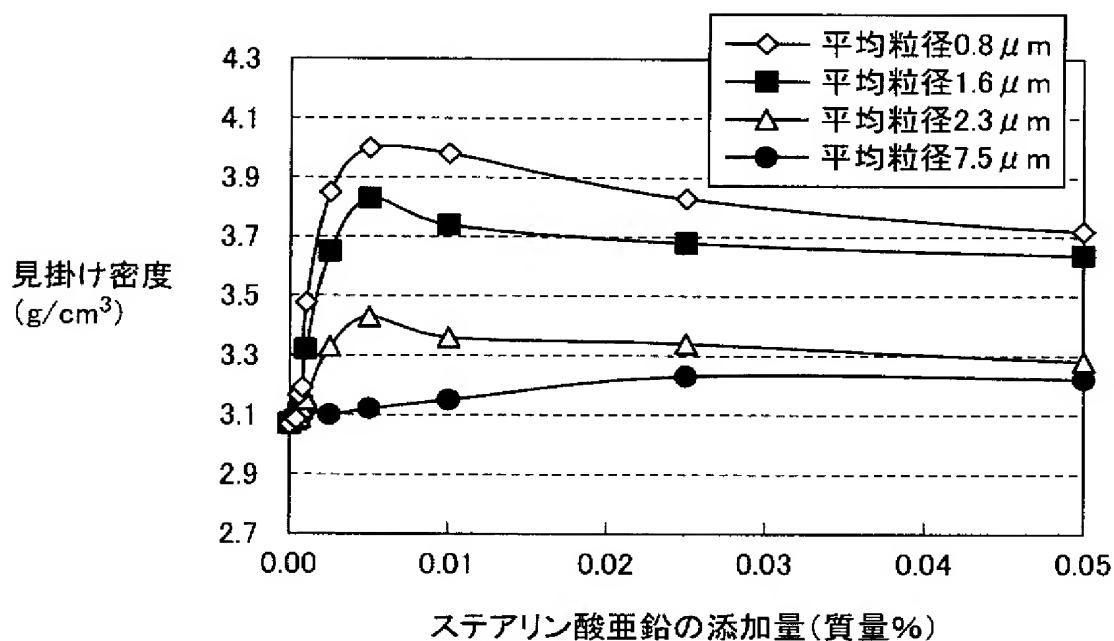
[図5]



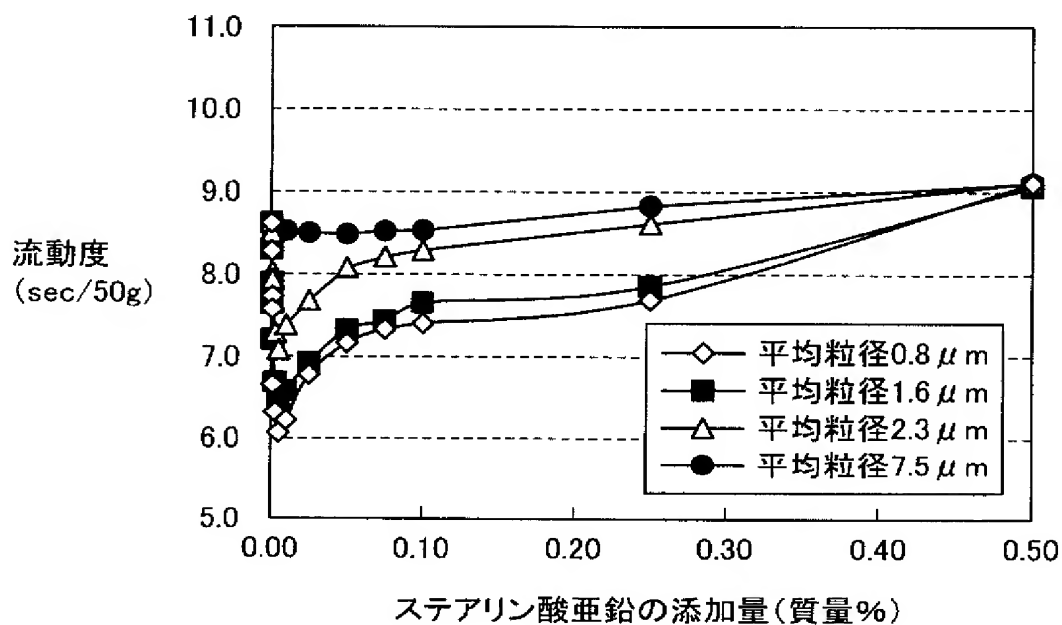
[図6]



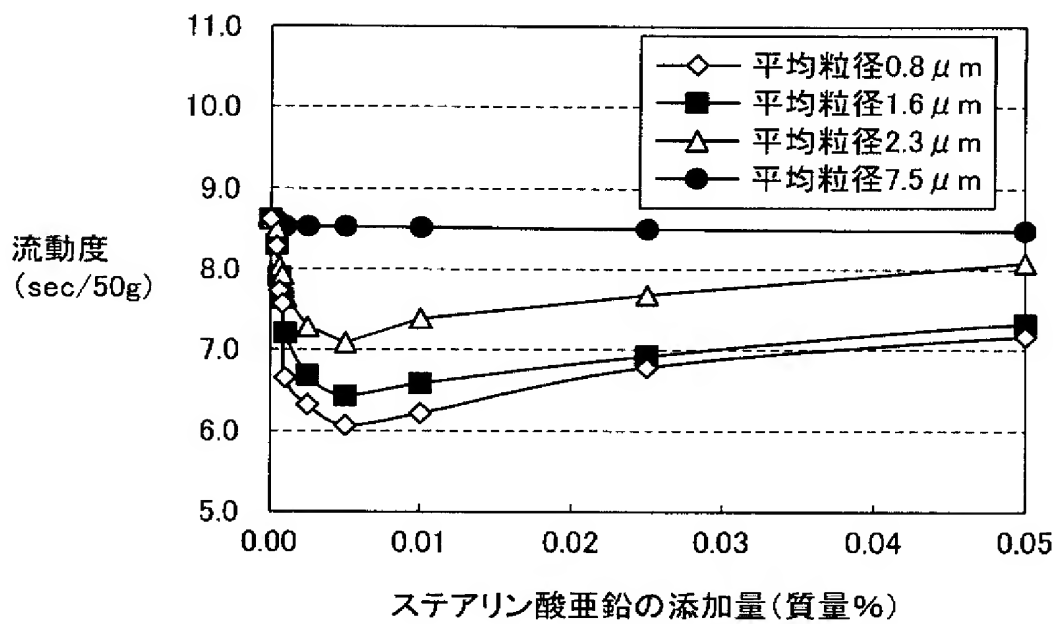
[図7]



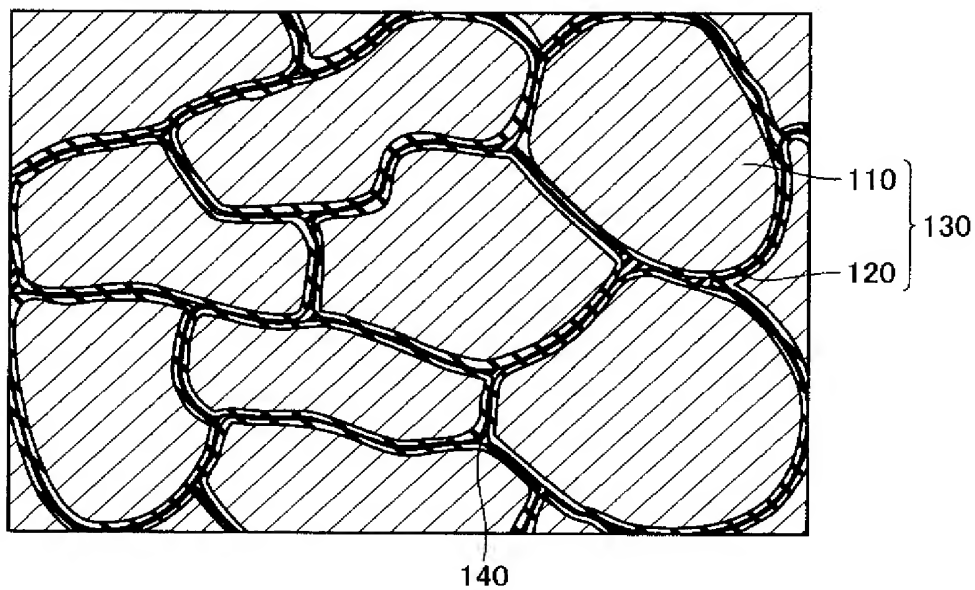
[図8]



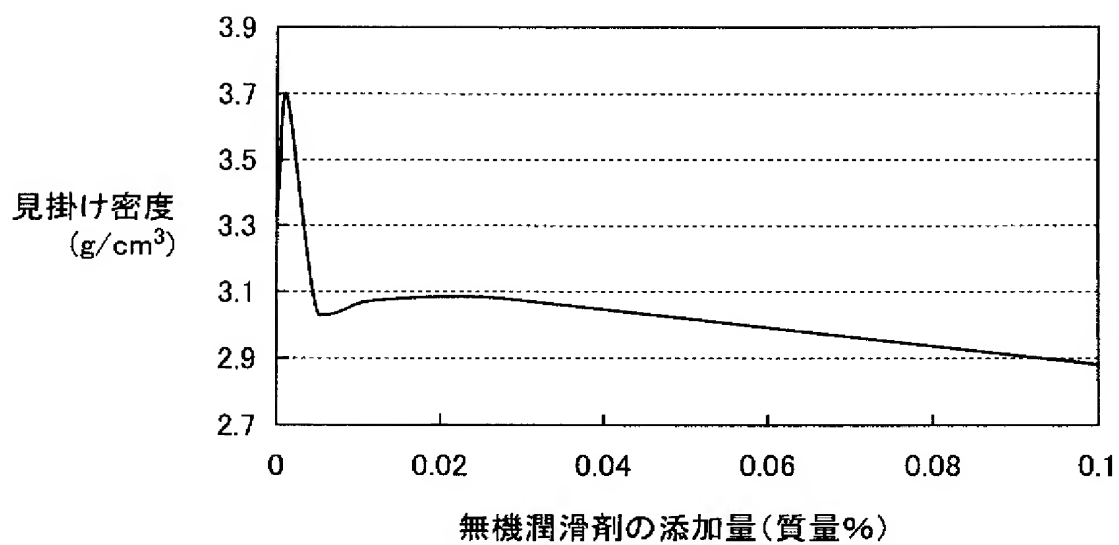
[図9]



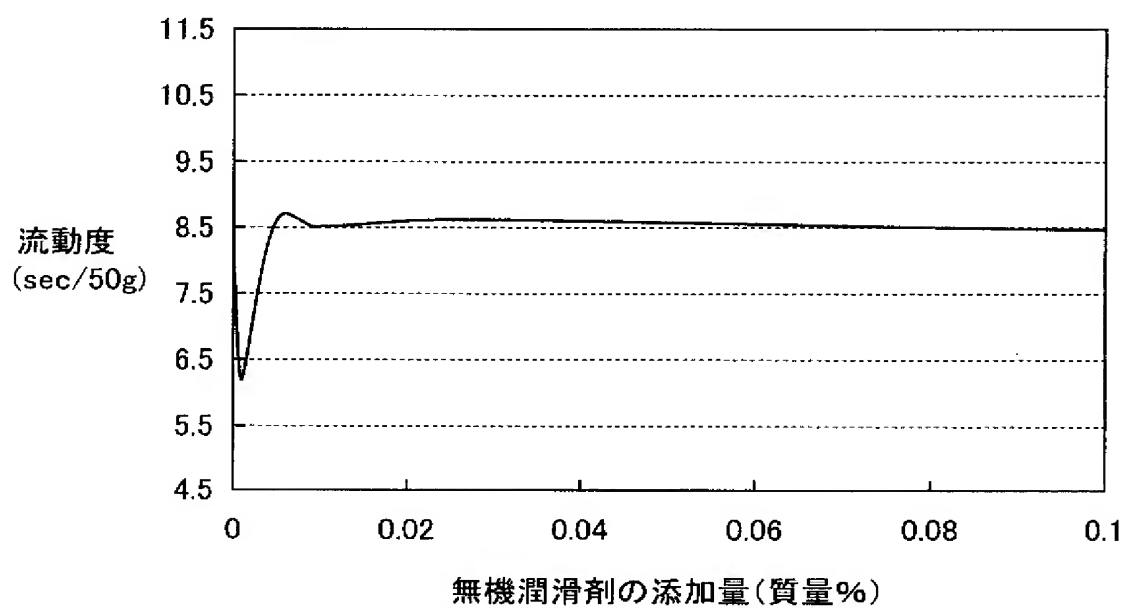
[図10]



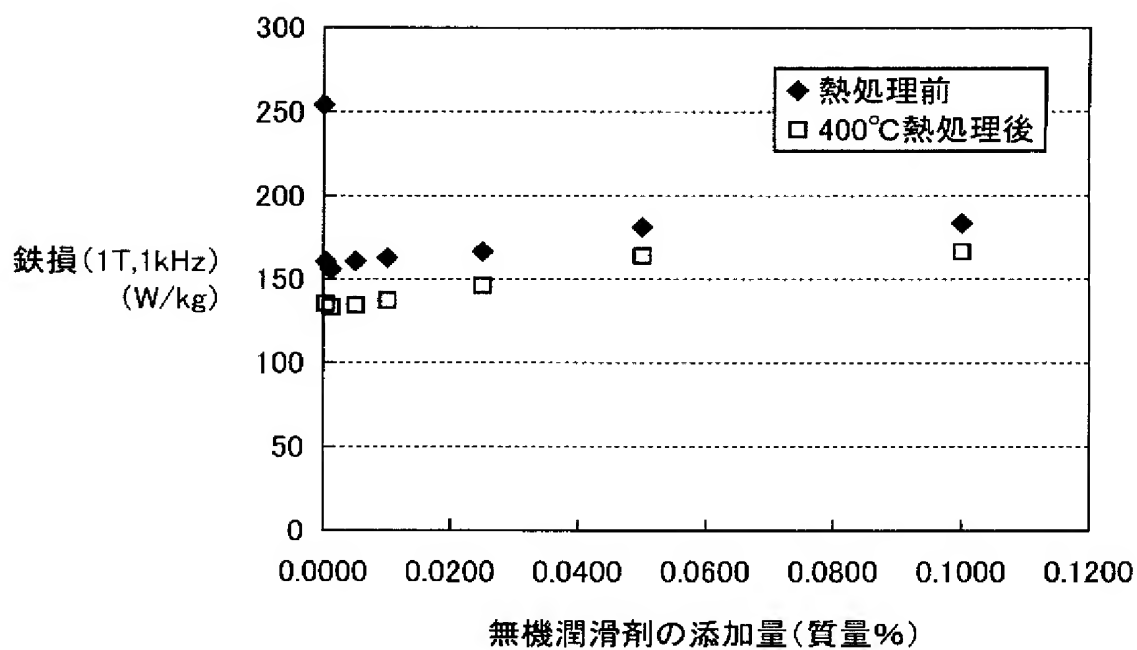
[図11]



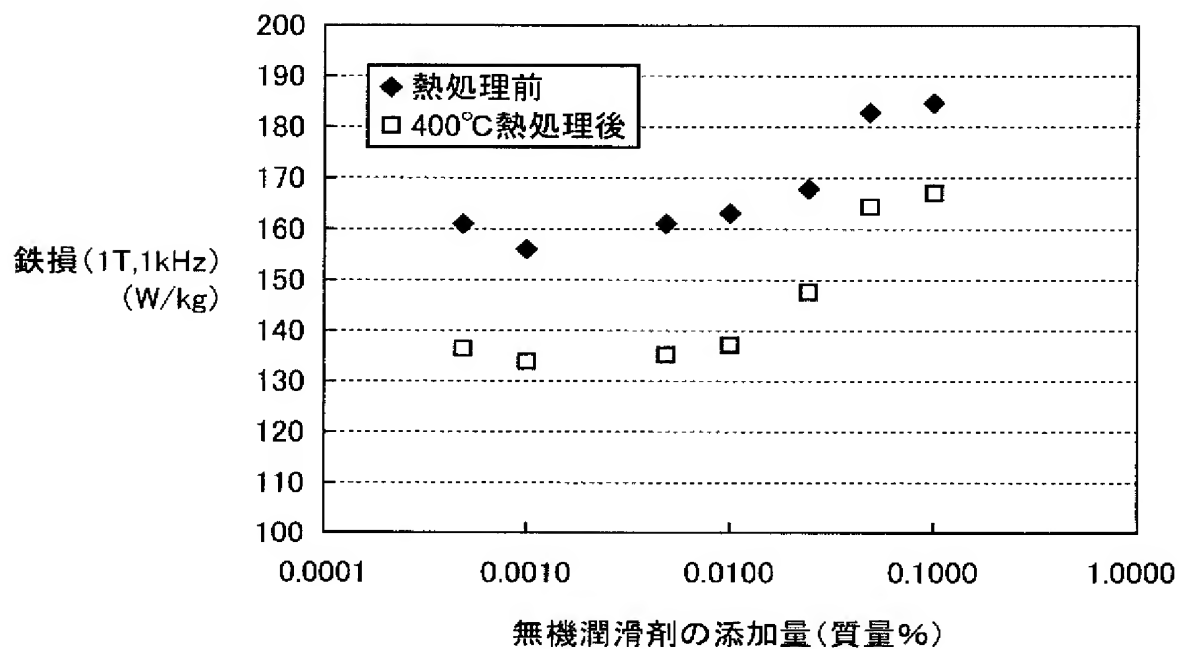
[図12]



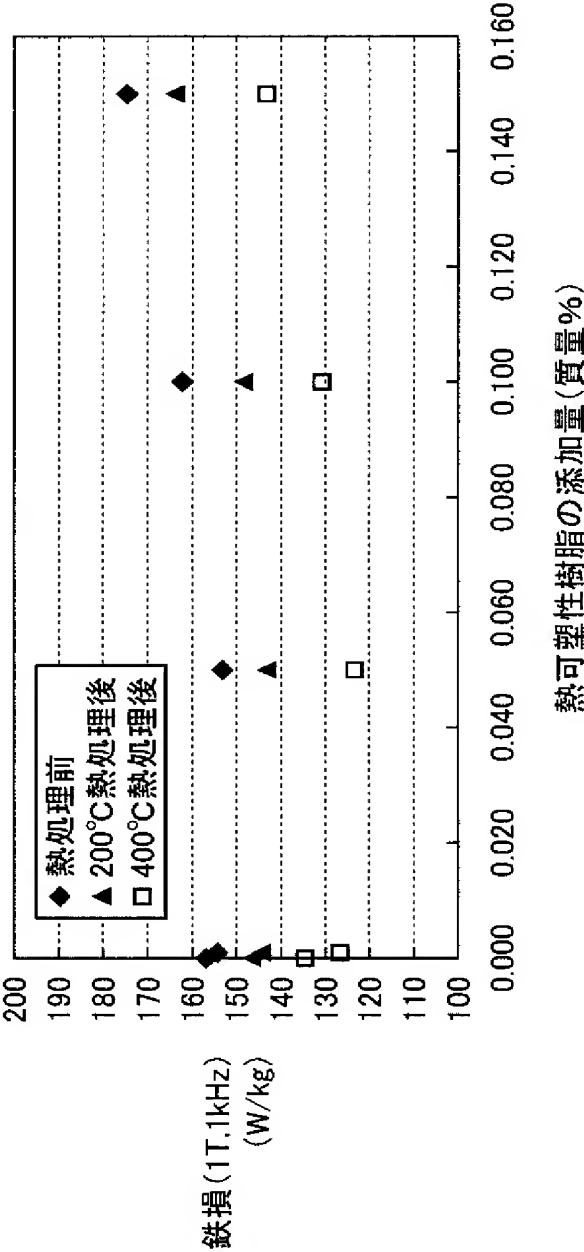
[図13]



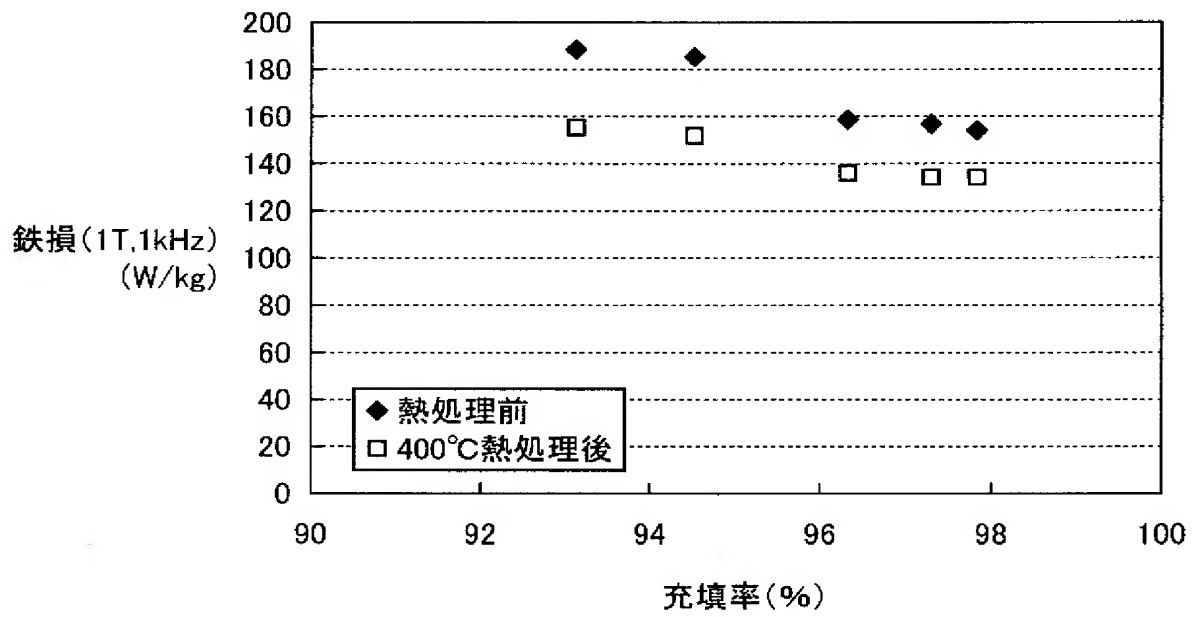
[図14]



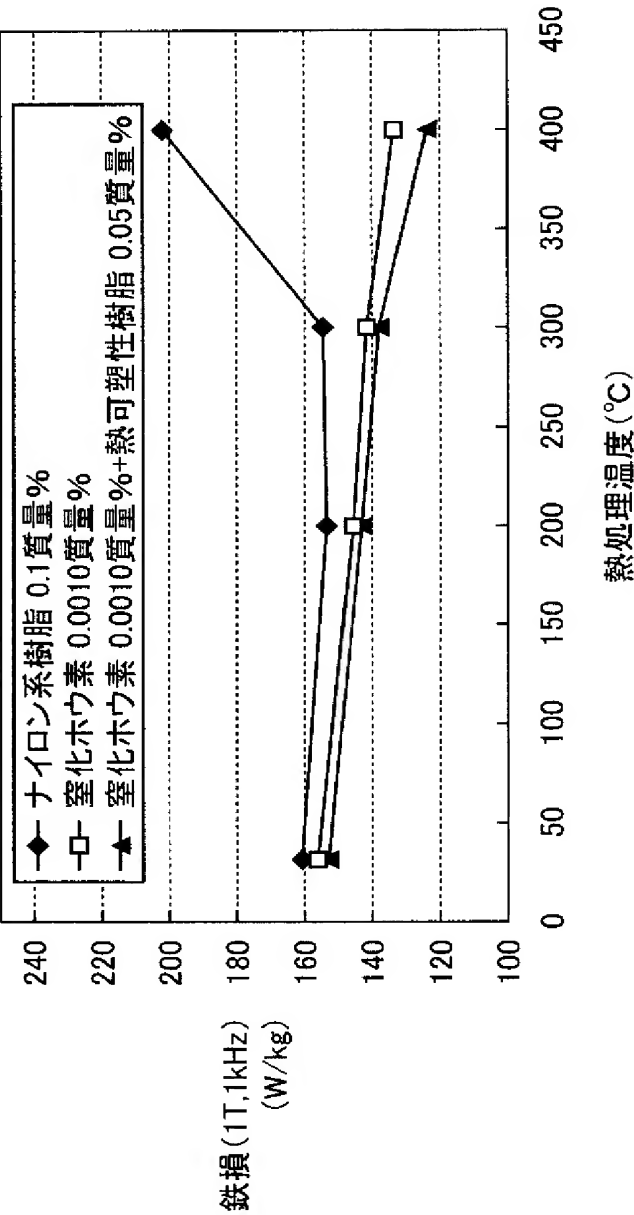
[図15]



[図16]



[図17]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/005887

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H01F/24, B22F1/02, 3/00, H01F1/33, 27/255, 41/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H01F/24, B22F1/02, 3/00, H01F1/33, 27/255, 41/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E, X E, Y	JP 2005-133148 A (Mitsubishi Materials Corp.), 26 May, 2005 (26.05.05), Claims; Par. Nos. [0001], [0004]; table 2 (Family: none)	1, 2, 4-7 3
X Y	JP 2003-510460 A (Robert Bosch GmbH), 18 March, 2003 (18.03.03), Claims 1, 2, 10; Par. Nos. [0019] to [0023] & US 6706206 B1 & EP 1131831 A & WO 2001/022448 A1 & DE 19945619 A & CN 1322366 T	1, 2, 6 3-5, 7
Y	JP 2001-358005 A (Daido Steel Co., Ltd.), 26 December, 2001 (26.12.01), Par. No. [0021] (Family: none)	3

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
15 June, 2005 (15.06.05)Date of mailing of the international search report  
28 June, 2005 (28.06.05)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/005887

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 7-245209 A (TDK Corp.), 19 September, 1995 (19.09.95), Par. No. [0026]; table 1 (Family: none)	3, 7
Y	JP 2003-526693 A (Hoeganaes Corp.), 09 September, 2003 (09.09.03), Par. Nos. [0041], [0042] & US 6280683 B1 & US 2002/4540 A1 & EP 1023383 A & EP 1230052 A & WO 1999/020689 A1 & WO 2001/030521 A1	3-5
Y	JP 2002-217015 A (Kawasaki Steel Corp.), 02 August, 2002 (02.08.02), Par. Nos. [0013], [0016] (Family: none)	4, 5

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> H01F1/24, B22F1/02, 3/00, H01F1/33, 27/255, 41/02

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> H01F1/24, B22F1/02, 3/00, H01F1/33, 27/255, 41/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
EX EY	J P 2005-133148 A (三菱マテリアル株式会社) 2005.05.26, 【特許請求の範囲】、【0001】、【0004】、 【表2】 (ファミリーなし)	1, 2, 4-7 3
X Y	J P 2003-510460 A (ローベルト ボッシュ ゲゼ ルシャフト ミット ベシュレンクテル ハフツング), 2003. 03.18, 【請求項1】、【請求項2】、【請求項10】、【0019】 ~ 【0023】 & US 6706206 B1 & EP 1 131831 A & WO 2001/022448 A1 &	1, 2, 6 3-5, 7

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

15.06.2005

国際調査報告の発送日

28.6.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

山田 正文

電話番号 03-3581-1101 内線 3565

5R

8835

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
	DE 19945619 A & CN 1322366 T	
Y	JP 2001-358005 A (大同特殊鋼株式会社) 2001. 12. 26, 【0021】 (ファミリーなし)	3
Y	JP 7-245209 A (ティーディーケイ株式会社) 1995. 09. 19, 【0026】、【表1】 (ファミリーなし)	3, 7
Y	JP 2003-526693 A (ヘガネス・コーポレーション) 2003. 09. 09, 【0041】、【0042】 & US 62 80683 B1 & US 2002/4540 A1 & E P 1023383 A & EP 1230052 A & W O 1999/020689 A1 & WO 2001/030 521 A1	3-5
Y	JP 2002-217015 A (川崎製鉄株式会社) 2002. 08. 02, 【0013】、【0016】 (ファミリーなし)	4, 5